UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 01186317 2

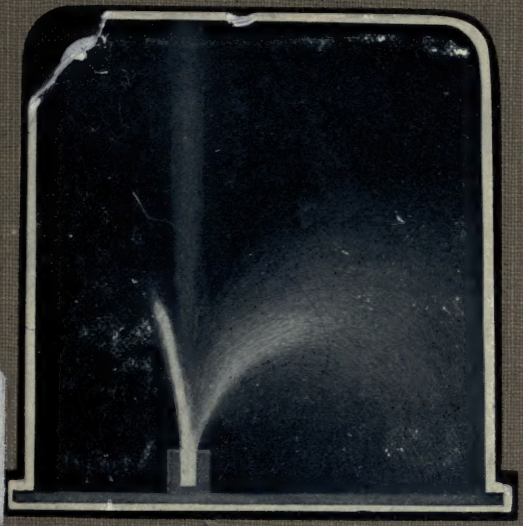
Naturwissenschaftliche Wegweiser

Sammlung gemeinverständlicher Darstellungen

Hugo Kauffmann

Das Radium

und die Erscheinungen der Radioaktivität



QC
795
K3

Serie A

Band 12

Herausgegeben von Prof. Dr. Kurt Lampert
Verlegt bei Strecker & Schröder in Stuttgart

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Naturwissenschaftliche Wegweiser

Sammlung gemeinverständlicher Darstellungen

Herausgegeben von **Professor Dr. Kurt Lampert**

Vorstand der K. Naturaliensammlung in Stuttgart

Die Bände der Serie A umfassen bis zu 150 Seiten Text in Klein-Oktav (Taschenformat), die Bände der Serie B bis zu 260 Seiten Text in Mittel-Oktav. Jeder Band ist reich mit Tafeln und Abbildungen geschmückt, für sich abgeschlossen und einzeln käuflich. Die Preise sind folgende:

Serie A: geheftet M 1.—, schön gebunden M 1.40
„ **B:** „ „ 2.—, „ „ „ 2.80

Mehr denn je steht heute die Menschheit im Zauberbanne der Natur. Millionen von Menschen sind Naturfreunde geworden; sie benutzen jede freie Stunde zu Wanderungen in Wald und Flur und suchen dort Erholung und Zerstreuung von des Tages Last und Mühe. Aber erst bei verständnisvoller Beobachtung auch des Lebens in der Natur wird der Naturfreund zahlreiche glückliche Stunden erleben; seine Sorgen werden ihm erträglicher, seine oft harten Berufspflichten angenehmer erscheinen. Zu solchen Beobachtungen sollen die Naturwissenschaftlichen Wegweiser anregen. Die hervorragendsten Naturforscher wollen durch sie das Verständnis für die Schönheiten und Wunder der Natur in die weitesten Kreise des Volkes tragen.

Wie urteilt die Presse über die Naturwissenschaftlichen Wegweiser?

Die jetzt übliche schwatzhafte Popularisierungskunst naturwissenschaftlicher Tatsachen kommt in diesen Bänden gottlob nicht zu Worte. Wie das wohltut nach so viel garnierten Schüsseln und verzierten Torten, wieder einmal ehrliche naturgeschichtliche Hausmannskost aufgetischt zu bekommen. Auch daß die Belehrung des Lesers nicht dazu benutzt wird, ihm eine „Weltanschauung" aufzudrängen, ist höchst löblich. Wir empfehlen die Sammlung aufs beste.

(Propyläen, München.)

Die beliebte Sammlung dient redlich der Aufgabe, die Freude an der Natur zu wecken und Aufklärung über deren Walten und Wirken zu geben.

(Staatsanzeiger in Württemberg.)

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen; falls sich keine solche am Orte befindet, direkt vom Verlage Strecker & Schröder in Stuttgart

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Wie urteilt der Leserkreis über die Naturwissenschaftlichen Wegweiser?

Ich kann wohl sagen, daß ich nie besser ausgestattete Bücher für einen so billigen Preis erhalten habe. (Sanitätsrat Dr. R. H. in S.)

So muß man dem Gebildeten wie dem Volke die Ergebnisse der modernen Naturwissenschaft darbieten, wie Sie es tun. (Pastor M. i. H.)

Ich besitze alle bisher erschienenen Bände. Jeder derselben befriedigt außerordentlich, sowohl textlich als auch durch die Abbildungen. Ich werde mir deshalb auch alle weiteren Bände sofort nach Erscheinen anschaffen.

(Bürgerschullehrer F. in W.)

Ich ziehe die „Naturwissenschaftlichen Wegweiser" vor anderen Sammlungen vor, weil die Darstellung mehr ausgearbeitet und lichtvoller ist. (B. H. in B.)

Die Sammlung verdient das Prädikat „ausgezeichnet".

(Lehrer W. v. B. i. W.)

Wir empfehlen diese Bücher, da sie zur Vorbereitung für den biologischen Unterricht sehr geeignet sind.

(Königl. Regierung, Abteilung für Kirchen- und Schulwesen, in Köslin, im „Amtlichen Schulblatt".)

Ein Verzeichnis der bisher erschienenen Bände ist diesem Buche am Schlusse beigegeben.

Links Preißel- oder Kronsbeere, rechts Blau- oder Heidelbeere
Abbildung aus: „Graebner, Heide und Moor"

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen; falls sich keine solche am Orte befindet, direkt vom Verlage Strecker & Schröder in Stuttgart

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Illustrierte Völkerkunde

Unter Mitwirkung von Dr. A. Byhan, W. Krickeberg, Dr. R. Lasch, Prof. Felix von Luschan und Prof. Dr. W. Volz herausgegeben von Dr. Georg Buschan. Oktav. 480 Seiten mit 211 Tafeln und Abbildungen.

Geh. M 2.60, geb. M 3.50

Das prächtig ausgestattete Werk gibt in gemeinverständlicher Schreibweise eine übersichtliche Darstellung der Naturvölker und der noch nicht zu höherer Kultur entwickelten Volksstämme. Wir erhalten hier sachkundigen Aufschluß über deren Geschichte und Sprache, Rasseneigentümlichkeiten, Obdach, Kleidung und Lebensunterhalt, Ehe, Sklaverei, soziale Verhältnisse und Rechtsleben, Waffen, Werkzeuge und Kriegsführung, Handel und Verkehr, religiöse Anschauungen und Zauberhandlungen, Kunst und Wissenschaft.

Einer besonderen Empfehlung bedarf das Buch nicht, denn es gibt heute kaum ein zweites Werk, das so viel Vorzüge besitzt, wie dieses. Es steht nach Inhalt, Ausstattung und Preis fast einzig da.

Im Zeitalter der Entschleierung unseres Erdballes gehört die Kenntnis fremder Völkerschaften zur allgemeinen Bildung. Das Buch gehört deshalb in jedes Haus. Alt und jung werden ihre Freude daran haben.

Ich kann Sie zu dem prächtig gelungenen Werke nur aufrichtigst beglückwünschen. Ein solches Buch hat uns bisher gefehlt.

(Dr. M. Haberlandt, Kustos am k. k. Naturhist. Hofmuseum in Wien.)

Das Werk macht den denkbar besten Eindruck und darf als ganz vortreffliche Ausführung einer gewiß nicht leichten, aber höchst verdienstlichen Aufgabe begrüßt werden. — Das alles in einem einzigen starken Bande zu einem geradezu minimalen, für jedermann leicht erschwinglichen Preise. (Prof. Dr. M. Hoernes in Wien.)

Kopf eines Dschagga-Mannes vom Kilimandjaro

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen; falls sich keine solche am Orte befindet, direkt vom Verlage Strecker & Schröder in Stuttgart

Das Radium

und die Erscheinungen der Radioaktivität

Naturwissenschaftliche Wegweiser

Serie A: Jeder Band geh. M 1.—, geb. M 1.40

1. Band: **Klein, Die Welt der Sterne**
2. Band: **Lampert, Bilder aus dem Käferleben**
3. Band: **Eckstein, Tierleben des deutschen Waldes**
4. Band: **Feucht, Die Bäume und Sträucher unserer Wälder**
5. Band: **Migula, Deutsche Moose und Farne**
6. Band: **Geyer, Die Weichtiere Deutschlands**
7. Band: **Marzell, Die Pflanzenwelt der Alpen**
8. Band: **Migula, Allgemeine Pilzkunde**
9. Band: **Graebner, Heide und Moor**
10. Band: **Bock, Die Naturdenkmalpflege**
11. Band: **Hilzheimer, Die Haustiere in Abstammung und Entwicklung**
12. Band: **Kauffmann, Das Radium**
13. Band: **Messerschmitt, Vulkanismus und Erdbeben**

Serie B: Jeder Band geh. M 2.—, geb. M 2.80

1. Band: **Messerschmitt, Die Erde als Himmelskörper**
2. Band: **Buschan, Menschenkunde**

Weitere Bände sind in Vorbereitung. Illustrierte Spezialprospekte stehen auf Wunsch kostenlos und postfrei zur Verfügung.

„Das Unternehmen hat sich in den bisher erschienenen Bänden sehr gut eingeführt."
Prof. Dr. S. Günther in Münchener Neueste Nachrichten.

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Naturwissenschaftliche Wegweiser
Sammlung gemeinverständlicher Darstellungen
Serie A. Herausgegeben von Prof. Dr. Kurt Lampert Band 12.

Das Radium

und die Erscheinungen der Radioaktivität

Von

Dr. Hugo Kauffmann

a. o. Professor an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart

Mit 10 Abbildungen im Text

1.—4. Tausend

Stuttgart
Verlag von Strecker & Schröder

Alle Rechte von der Verlagsbuchhandlung vorbehalten

QC
795
K3

652139
22. 2. 57

Druck von Strecker & Schröder in Stuttgart
Holzfrei Autotypie-Druckpapier von Bohnenberger & Cie., Papierfabrik,
Niefern in Baden

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort VII
1. Die Entdeckung des Radiums 1
2. Eigenschaften des Radiums 7
3. Die Natur der Radiumstrahlen 15
4. Die Emanation des Radiums und die erregte Radioaktivität . 41
5. Das Uran und seine Beziehung zum Radium 62
6. Das Thorium 70
7. Das Aktinium 75
8. Die Verbreitung der Radioaktivität 78
9. Folgerungen 89
Register 93

Vorwort.

Wohl selten ist eine Wissenschaft so ungeahnt entstanden und so rasch emporgeblüht, als unsere Kenntnis vom Radium und der Radioaktivität. Ein ganz neues Naturgebiet hat uns seine Pforten eröffnet und uns Erscheinungen vorgezeigt, denen sich nichts Bekanntes an die Seite stellen läßt. Die Grundvorstellungen des naturwissenschaftlichen Denkens, insbesondere in Chemie und Physik, erscheinen in neuer Beleuchtung, und daher verlohnt es sich sicher der Mühe, den Geheimnissen der Radioaktivität nachzuspüren.

Angesichts der kurzen Spanne Zeit, seit welcher die radioaktiven Erscheinungen bekannt sind, darf es nicht wundernehmen, daß die Ansichten noch nicht in allen Punkten geklärt und gefestigt sind. Trotzdem haben sich dank der intensiven Bearbeitung des Problems führende Gedanken herauskristallisiert, die sich als Ansporn zu weiteren Forschungen bewähren. Das vorliegende Büchlein gibt Aufschluß über den gegenwärtigen Stand der Auffassungen und orientiert über die Grundzüge der Erscheinungen.

Stuttgart, im Februar 1910.

Der Verfasser.

1. Die Entdeckung des Radiums.

Im Jahre 1789 beobachtete Klaproth[1] bei der Untersuchung der Pechblende, einem grauschwarzen, wachsartig glänzenden, schweren Mineral, einen neuen metallischen Bestandteil, den er nach dem acht Jahre vorher von dem Astronomen Herschel entdeckten Planeten Uranium nannte[1]. Ein aus dem Mineral abgeschiedener, indessen noch sauerstoffhaltiger Körper, nämlich das metallisch glänzende Urandioxyd, wurde lange Zeit hindurch als das freie Element angesehen. Erst im Jahre 1840 bemerkte man den Gehalt an Sauerstoff und stellte das eigentliche Uranmetall her. In neuerer Zeit wurde es von dem berühmten französischen Chemiker Henri Moissan mit Hilfe des elektrischen Stromes aus seinem Oxyd in Freiheit gesetzt.

Das chemische Interesse an diesem Element war nie ein besonders reges. Wohl werden Uranverbindungen als Farben, so vor allem in der Porzellan- und Glasindustrie, benützt, aber eine große praktische Bedeutung konnte sich das Uran nicht erringen. Auch in wissenschaftlicher Hinsicht stand es ziemlich im Hintergrund und hat vielleicht nur insofern eine bevorzugte Stellung einnehmen können, als es durch das größte Atomgewicht ausgezeichnet ist. Von allen Elementen, die bekannt geworden sind, besitzt das Uran die schwersten Atome.

Die geringe Achtung, welche die Chemie dem Uran und seinen Verbindungen zollte, schlug mit einem Mal ins

[1] Martin Heinrich Klaproth, 1743—1817, Professor der Chemie an der Universität Berlin.

Gegenteil um. Dank der Entdeckung der radioaktiven Erscheinungen sind sie plötzlich an die Spitze der chemischen Forschung vorgerückt. Erhofft man doch mit Hilfe des Urans und seiner Umwandlungsprodukte ein tieferes Eindringen in das Wesen der Materie zu gewinnen! Sind es doch gerade diese Stoffe, welche so manche Träume der Alchemisten, wenn auch in geläuterter Form, wieder erstehen und höchstwahrscheinlich Tatsache werden lassen!

Der Umschwung, mit dem ein neues Zeitalter der Chemie beginnt, wurde eingeleitet durch die bedeutungsvolle Entdeckung Röntgens. Die Erkenntnis, daß es unsichtbare, photographierbare Strahlen gibt, die andere Eigenschaften wie das Licht besitzen und selbst dicke, undurchsichtige Körper zu durchdringen vermögen, gab die Anregung, nach dem sonstigen Auftreten solcher Strahlen zu suchen. Da die Vakuumröhren, die die Röntgenstrahlen aussenden, in grünem Lichte aufleuchten, oder wie man sagt, stark fluoreszieren, so dachte man zunächst an einen Zusammenhang zwischen Fluoreszenz und Strahlungsvermögen. Man fand tatsächlich fluoreszierende Körper, die auf die photographische Platte, auch wenn diese sorgfältig umhüllt war, einwirkten. Manche dieser Beobachtungen erwiesen sich als unzutreffend, manche wurden bestätigt, aber ihrer Auffälligkeit dadurch beraubt, daß man nachwies, daß die betreffenden Körper Dämpfe aussenden, welche die photographische Platte beeinflussen.

Eine Ausnahme machten die Uransalze. Henri Becquerel in Paris stellte im Jahre 1896 fest, daß diese nicht bloß durch schwarzes Papier, sondern auch durch Aluminiumbleche hindurch auf die photographische Platte eine Wirkung ausüben. Viele Uransalze fluoreszieren gelb bis grün, d. h. sie leuchten in dieser Farbe, wenn gewisse andersfarbige, etwa

blaue Lichtstrahlen auf sie einfallen. Obwohl gerade dieser Umstand der Ausgangspunkt für die Prüfung der Uransalze war, erwies sich die Fluoreszenz nachträglich als etwas für die fragliche photographische Wirksamkeit ganz Nebensächliches und Gleichgültiges. Die Uranverbindungen hinterlassen Eindrücke auf die photographische Platte auch wenn sie nicht fluoreszieren, selbst dann, wenn sie im Dunkeln frisch bereitet sind und noch niemals fluoresziert haben. Sogar das metallische Uran und solche seiner Salze, denen kein Fluoreszenzvermögen innewohnt, sind im Besitze dieser geheimnisvollen Fähigkeit.

Das Uran und alle uranhaltigen Substanzen vermögen also eine Wirkung in den umgebenden Raum hinauszusenden, eine Wirkung, welche von Gegenständen wie Holz, Kautschuk oder dünnen Metallstreifen nicht aufgehalten wird. Ähnlich einer Vakuumröhre, wenn auch in viel schwächerem Grade, sind sie die Quelle einer dem menschlichen Auge unsichtbaren Strahlung, deren Vorhandensein zunächst nur die photographische Platte verrät. Während jedoch zur Erzeugung von Röntgenstrahlen eine Zufuhr elektrischer Kraft erforderlich ist, kommen diese Uran- oder Becquerelstrahlen ununterbrochen von ganz allein und ohne jeden Eingriff zustande. Woher eine Uranverbindung auch stammen und wie sie chemisch zusammengesetzt sein mag, stets strahlt sie. Wir haben daher zu schließen, daß die Strahlung eine charakteristische Eigentümlichkeit des Elementes Uran darstellt, mit anderen Worten, daß der Sitz der Strahlung in den Uranatomen zu suchen ist.

Uran- und Röntgenstrahlen haben, wie Becquerel rasch erkannte, neben der photographischen noch eine zweite Wirkung gemeinsam. Beide machen die Luft leitfähig für Elektrizität.

Eine elektrisierte Metallkugel verliert ihre Ladung nur außerordentlich langsam, falls die umgebende Luft rein ist und von keinerlei Strahlen durchsetzt wird. Durchströmen aber Röntgenstrahlen die Luft, dann büßt sie das Isolationsvermögen ein; die Ladung der Kugel verschwindet und wandert durch die Luft hindurch fort, zum Erdboden hin oder wo es sonst sei. Die gleiche entladende Wirkung, wenn auch schwächer, üben die Uranstrahlen aus. Uranmineralien oder -salze beschleunigen die Entladung eines elektrisierten Körpers, wenn sie in die Nähe gebracht werden. Die Geschwindigkeit der Entladung kann nach physikalischen Methoden genau ermittelt werden und bietet sich daher von selbst als bestes Maß für die Stärke der Uranstrahlen dar.

Außer dem Uran ist auch noch das Thorium zur Aussendung einer Strahlung fähig, eine Tatsache, welche im Jahre 1898 einerseits von C. G. Schmid, (damals in Erlangen) und andererseits von Frau Sklodowska Curie (Paris) entdeckt wurde. Das Thorium ist ein schon länger bekanntes chemisches Element. Der große schwedische Chemiker Berzelius fand es 1829 auf und benannte es nach dem Kriegsgott Thor der nordischen Mythologie. Es war lange Zeit hindurch ohne jegliche praktische Bedeutung, bis es plötzlich für Beleuchtungszwecke sehr begehrt wurde. Die Strümpfe des Gasglühlichts enthalten die Thorerde, eine Sauerstoffverbindung des Thors, als einen wesentlichen und Hauptbestandteil.

In chemischer Hinsicht nimmt das Thor insofern eine bemerkenswerte Stellung ein, als sein Atomgewicht das zweitgrößte ist und seine Atome also nach denjenigen des Urans die schwersten sind. Andere Elemente zeigen keine Becquerelstrahlen, so daß diese geheimnisvolle Erscheinung sich nur an

die schwersten Atome zu knüpfen scheint. Frau Curie, die zahlreiche Mineralien auf das Vorhandensein einer Strahlung prüfte, hat Körper, die gleich dem Uran und Thor Becquerelstrahlen abgeben, radioaktive Substanzen genannt. Diese Bezeichnungsweise kam schnell in Aufnahme. Alle Tatsachen, die sich auf die besonderen Eigenschaften der radioaktiven Substanzen beziehen, bilden den Inhalt der Wissenschaft von der Radioaktivität.

Die umfangreichen Untersuchungen der Frau Curie förderten ein unerwartetes Ergebnis zutage. Ist das Strahlungsvermögen eine Eigenschaft des Urans, so sollte die Radioaktivität um so kräftiger auftreten, je reicher der Gehalt eines Körpers an Uran ist. Das metallische, freie Element enthält natürlich das Maximum und sollte daher die größte Strahlung liefern; alle Uranverbindungen, da sie ja noch andere, nicht radioaktive Bestandteile enthalten, dürften nur schwächere Wirkungen äußern. Während diese Verhältnisse wohl häufig zutreffen, offenbart sich merkwürdigerweise in einigen Fällen auch das Gegenteil. Frau Curie maß die Radioaktivität nach der empfindlichen elektrischen Methode und wurde so auf Mineralien aufmerksam, die viel größere Wirksamkeit entfalten als das Uran selbst. Eine Pechblende von Johanngeorgenstadt erwies sich als dreieinhalbmal stärker als das freie Element, eine solche von St. Joachimstal war etwas schwächer, aber immer noch dreimal stärker.

Woher kommt dieser Widerspruch? Wovon die übermäßige Radioaktivität? Nur eine eingehende chemische Analyse vermag die Aufklärung zu bringen. Herr und Frau Curie unternahmen diese Aufgabe und führten die chemischen Trennungsmethoden durch, indem sie jeden Niederschlag und jede Lösung, mit welcher man es im Gang der Analyse zu tun

hat, auf Aktivität prüften. So stellte sich heraus, daß die Radioaktivität sich hauptsächlich an zwei wohlbekannte Elemente heftet, nämlich an Barium und Wismut. Da nun aber Barium- und Wismutpräparate, insofern sie nicht aus Pechblende oder Uranmineralien gewonnen wurden, niemals radioaktiv sind, so mußten noch irgendwelche völlig unbekannte Verunreinigungen zugegen sein. In der Tat glückte es nach unendlicher und kostspieliger Arbeit, von dem aus der Pechblende bereiteten Bariumchlorid ein anderes Chlorid abzutrennen, das zwar dem ersteren noch ähnelte, aber ganz bestimmt von ihm verschieden war. So wurde im Jahre 1900 das Radium entdeckt. Die Abscheidung des aktiven Bestandteils des Wismuts begegnete noch unvergleichlich höheren Schwierigkeiten; obgleich noch nicht rein dargestellt, erhielt er nach dem Heimatlande der Frau Curie den Namen Polonium. Wie mühselig die Arbeit war, geht allein schon daraus hervor, daß eine Tonne Pechblende nur einige Zehntelgramm Radiumchlorid liefert.

Die Radioaktivität des Radiums ist enorm groß und beträgt mehr als das Millionenfache von der des Urans oder Thors. Nur so ist es begreiflich, daß sich das neue Element trotz seines spurenhaften Vorkommens in der Pechblende überhaupt noch bemerkbar machte. Mit der Entdeckung des Radiums hat sich ein neuer Forschungszweig in der Physik und Chemie Eingang verschafft, ist plötzlich eine neue Wissenschaft entstanden, deren erste Leistung sich den früher für einzig gehaltenen Erfolgen der Spektralanalyse sogleich ebenbürtig, wenn nicht gar überlegen, erwies. Henri Becquerel und das Ehepaar Curie, die in kurzer Zeit ihre Arbeit von so glänzenden Erfolgen gekrönt sahen, wurden im Jahre 1903 durch den Nobelpreis ausgezeichnet. Bald stieß man auf

andere radioaktive Elemente, so Debierne (Paris) auf das Aktinium, das er auch aus Pechblende gewann, wie überhaupt die Pechblende ein Sammelsurium von bekannten und unbekannten Elementen ist. Im Interesse der Wissenschaft hat in Österreich, wo die wichtigsten Fundorte von stark radioaktiven Uranerzen gelegen sind, die Regierung die Verarbeitung in die Hand genommen und sich das Verfügungsrecht über die gewonnenen Präparate vorbehalten. Auch in England ist eine Radiumfabrik ins Lebens gerufen worden.

2. Eigenschaften des Radiums.

Die Radiumpräparate tragen eine Reihe höchst seltsamer und völlig neuartiger Eigenschaften zur Schau, die, weil bis dahin noch niemals an einem Stoffe beobachtet, Rätsel auf Rätsel aufgeben. Die gewöhnliche Form, in welcher das Radium zu Untersuchungen benützt wird, ist ursprünglich das Chlorid, also die Verbindung mit Chlor gewesen; seitdem aber Giesel in Braunschweig gezeigt hat, daß die Abscheidung als Verbindung mit Brom das Reinigungsverfahren erheblich abkürzt und erleichtert, zieht man das Radiumbromid vor, das darum auch diejenige Form ist, in welcher das Radium in den Handel gebracht wird. Sowohl das Chlorid und das Bromid wie auch die anderen Radiumsalze stellen in reinem Zustand unscheinbare weiße Kriställchen oder Pulver dar, die nicht nur unauffällig aussehen, sondern auch bei der chemischen Analyse leicht mit den analogen Bariumsalzen verwechselt werden können. Beim Aufbewahren tritt allerdings mit der Zeit der Unterschied auf, daß die Salze des Radiums im Gegensatz zu denen des Bariums sich färben. Das Bromid z. B. wird gelb. Ein anderer kleiner Unter-

schied besteht darin, daß das Chlorid und das Bromid des Radiums sich etwas weniger reichlich in Wasser lösen als die entsprechenden Verbindungen des Bariums. Gerade diese Abweichung hat trotz ihrer Geringfügigkeit die Scheidung der beiden Elemente ermöglicht. Wie kostbar das neue Element ist, bezeugen die ungeheuren Preise, die dazuhin noch fortwährend im Steigen begriffen sind. Nicht weniger als 150 Mark zahlte man im verflossenen Jahre für den tausendsten Teil eines Grammes Radiumbromid.

Das Radium besitzt als wahres chemisches Element ein eigenes Atomgewicht. Frau Curie fand zwar bei ihren ersten Präparaten, die nicht stark aktiv und sehr unrein waren, Zahlen, die noch in der Nähe des Atomgewichts des Bariums, also bei 137 lagen. In dem Grade, als die Reinheit und die Aktivität ihrer Substanzen wuchs, stiegen die Werte rasch an und gelangten bis zu 225. Durch spätere, sorgfältigste Neubestimmungen erhöhte sich dieser Wert noch auf 226,4, eine Zahl, die auch von der internationalen Atomgewichtskommission in ihre Tabelle aufgenommen wurde. Das Atomgewicht des Radiums, das also bedeutend größer als das des Bariums ist, kommt gleich nach dem des Thoriums, so daß uns in den Atomen des Radiums die drittschwersten begegnen.

Das Radium schließt sich seinem allgemeinen, chemischen Charakter nach eng der Gruppe der Erdalkalimetalle, nämlich dem Calcium, Strontium und Barium an. Die Salze der Erdalkalien verleihen den Flammen besondere Färbungen, z. B. die des Bariums eine grüne, eine Erscheinung, auf welcher die bekannte Verwendung zu bengalischem Feuer beruht. Die Radiumsalze verhalten sich analog und rufen, wenn sie in eine nichtleuchtende Gas- oder Spiritusflamme

verbracht werden, ein glänzendes Karmin hervor. Sie erteilen auch dem elektrischen Funken eine bestimmte Färbung. Die mit Hilfe des Spektroskops durchgeführte Untersuchung gibt im Spektrum dieser Farben Linien zu erkennen, die bei keinem anderen Stoff auftreten und so auf das bestimmteste das Radium als neues Element kennzeichnen. Man sieht vor allem zwei schöne Streifen im Rot, eine Linie im Blau und zwei schwache im Violett. Die Anordnung der Linien gehorcht denselben Regeln wie die der Erdalkalien, wodurch die rein chemischen Erfahrungen auch durch die spektroskopischen eine Bestätigung finden.

Sehen die Radiumpräparate, bei Tageslicht betrachtet, unscheinbar wie tausende von anderen Körpern aus, so verraten sie im Dunkeln sofort schlagend ihre Sondernatur. Sie strahlen wie Glühwürmchen. Sie leuchten, und zwar ununterbrochen, jahraus, jahrein; unabhängig davon, ob sie heiß oder kalt sind. Außerordentlich viel kräftiger noch als die Präparate selbst geraten die Leuchtschirme, wie sie für Röntgenstrahlen zur Verwendung gelangen, beim Annähern ins Leuchten. Die gelben, mit Bariumplatincyanür bestrichenen Schirme erstrahlen in hellem, gelblichgrünem Licht, sogar wenn das Radiumsalz mehrere Zentimeter entfernt ist. Sie erstrahlen auch dann noch, wenn man ein Hindernis dazwischen schiebt, wobei natürlich je nach dessen Natur und Dicke die Leuchtintensität eine mehr oder weniger große Schwächung erfährt. Wie mit Röntgenstrahlen kann man viele Gegenstände durchleuchten und Schattenbilder davon auf dem Schirm entwerfen. Zum Durchleuchten von Gliedmaßen ist das Verfahren indessen kaum geeignet, da Knochen und Weichteile sich nicht genügend voneinander abheben.

Die Radiumsalze unterscheiden sich durch diese Lichterregung von allen Stoffen der Chemie. Keine andere Substanz ist imstande, einzig und allein durch bloße Annäherung das Leuchten des Schirmes zu erwecken. Das ist aber noch das geringste Wunder, welches das Radium uns offenbart. Ungleich staunenerregender ist die Tatsache, daß eine andauernde Wärmeentwicklung stattfindet. Die Radiumpräparate sind wärmer als ihre Umgebung. P. Curie beobachtete bei 0,7 g Radiumbromid, die in einem kleinen Gefäß eingeschlossen waren, eine um 3° C höhere Temperatur als in der angrenzenden äußeren Luft. Giesel stellte für 1 g des gleichen Salzes sogar eine Differenz von 5° C fest. Die Entwicklung der Wärme ist eine immerwährende und so stark, daß, falls es gelänge, ein ganzes Kilogramm des Radiumsalzes zu gewinnen, dieses von selbst in volle Glut käme. 1 g Radium liefert in der Stunde rund 100 Kalorien, also eine Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 g Wasser von Null auf 100° zu erhitzen. Die im Lauf eines Jahres von 1 g Radium insgesamt erzeugte Wärme ist vergleichbar mit derjenigen, welche bei der Verbrennung von etwa 100 g Kohle entsteht. Könnte man die Präparate in großen Mengen herstellen und gelänge es, die entwickelte Wärme ohne Verluste in mechanische Arbeit überzuführen, so erhielte man jahraus, jahrein, ununterbrochen aus 10 kg Radiumbromid die Arbeit von einer ganzen Pferdekraft. Läge es in Menschenhand, beliebig große Mengen von so stark radioaktiven Substanzen zu gewinnen, so würde dies eine völlige Umwälzung der Technik und unseres wirtschaftlichen Lebens bedeuten.

Die Radiumsalze laden sich von selbst ununterbrochen elektrisch. Ohne weiteres läßt sich zwar diese Tatsache wohl kaum

feststellen, denn dank der vorhandenen Becquerelstrahlen isoliert die umgebende Luft nicht mehr und gestattet ein Entweichen der Ladung. Befindet sich jedoch das Salz in einem zugeschmolzenen, isolierenden Glasröhrchen, so vermag sich die Elektrizität anzusammeln, manchmal dermaßen, daß man beim Anschneiden des Glases mit einem Feilenstrich Funken überspringen sieht, ja sogar einen leichten Schlag empfinden kann. Die sich so anhäufende Ladung ist eine positive.

Die sich von selbst und andauernd vollziehende Entwicklung von Elektrizität hat Strutt den Gedanken zur Konstruktion eines Perpetuum mobile eingegeben. Das Prinzip eines solchen Apparates ist sehr leicht verständlich (Abb. 1). Ein luftleer gepumptes Gasgefäß G trägt im Inneren an einem gut isolierenden Quarzstab Q ein kleines, Radiumbromid einschließendes Glasröhrchen R, an dessen unterem Ende das Elektroskop EE angebracht ist, d. h. zwei Goldblättchen E aufgehängt sind. Da das Gefäß G keine Luft enthält, so ist es den von R ausgehenden Becquerelstrahlen versagt, eine Leitfähigkeit in G hervorzurufen. Die in R auftretende Elektrizität kann nicht durch den umgebenden Raum abfließen und stapelt sich immer stärker auf. Da die

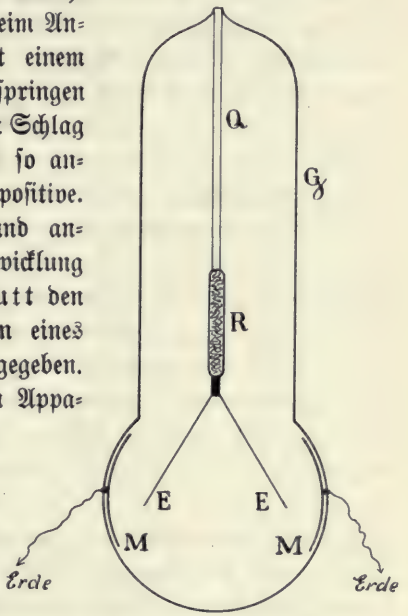


Abb. 1. Perpetuum mobile.

Oberfläche des Röhrchens R durch Bestreichen mit Phosphorsäure leitend gemacht worden ist, teilt sich die elektrische Ladung auch dem Elektroskop mit, dessen Blättchen, in dem Maße, als sich die Elektrizität anhäuft, sich stärker und stärker spreizen. Dabei heben sich die herabhängenden Enden der Blättchen und nähern sich den an der inneren Wand des Gefäßes G befestigten, mit der Erde leitend verbundenen Metallbelegungen M mehr und mehr, bis sie schließlich diese Belegungeu berühren. Durch den Kontakt werden die Blättchen in leitende Verbindung mit der Erde gebracht; ihre Ladung fließt daher augenblicklich ab. Sie werden unelektrisch, fallen sofort zusammen und hängen wieder ganz wie am Anfang herunter. Nun beginnt aufs neue das Spiel. Die Blättchen erhalten von R her allmählich wieder eine neue Ladung, spreizen sich nach und nach wieder stärker, um endlich durch den Kontakt M aufs neue zusammenzufallen. Wir sehen ein regelmäßiges Auf- und Abbewegen der Blättchen, das die ganze Vorrichtung zu einer selbsttätigen, nie aufzuziehenden Uhr stempelt. Schon mit 2 mg Radiumbromid kann man eine Uhr konstruieren, deren Spiel ungefähr alle fünf Minuten aufs neue einsetzt.

Ist diese Radiumuhr tatsächlich ein Perpetuum mobile? Verwirklicht sie in der Tat die Lösung des Problems einer von sich selbst aus und ohne äußeres Zutun ewig fortarbeitenden Maschine oder Vorrichtung? Seit Robert Mayer und Helmholtz ist von der Naturwissenschaft die auf den fruchtlosen Bestrebungen früherer Jahrhunderte gegründete Erkenntnis, daß ein Perpetuum mobile unmöglich sei, als erster Grundsatz auserkoren worden, und nun sollte das festfundierte Lehrgebäude trotz alledem eine Lücke haben und sollte die Sehnsucht phantastischer Köpfe, über welche man lächelte, kein

hinfälliges Hirngespinst gewesen sein! Die Naturwissenschaft tritt nur in eine neue Epoche der Forschung ein; sie hält an ihrem Grundsatz unverbrüchlich fest und sucht die Erklärung in einer ganz anderen Richtung. Was will das heißen, daß das Radium, von dessen Existenz wir erst seit zehn Jahren etwas wissen, ununterbrochen Wärme und Elektrizität produziert? Selbst wenn die Erzeugung dieser Energiearten Hunderte von Jahren anhalten sollte, sind wir noch nicht überzeugt, daß dies für immer so sei. Niemand kann beweisen, daß die Radiumuhr sich auch in künftigen Jahren unverändert halte, daß sich ihr Gang nicht allmählich verlangsame und daß sie nie zum Stillstand komme. Man hat die Ansicht ausgesprochen, das Radium verbrauche sich, und da diese Vorstellung, wie noch ausführlicher zu zeigen ist, sich bewährt und fruchtbar erweist, so erleidet der Satz von der Erhaltung der Kraft oder der Energie nicht die geringste Erschütterung. Hingegen werden der Chemie neue und ungeahnte Tatsachen zugeführt. Die Radiumuhr ist nur ein scheinbares Perpetuum mobile, und einmal wird auch sie sicher zur Rast kommen.

Ebenso merkwürdig wie in physikalischer sind die Eigenschaften der Radiumsalze in chemischer Hinsicht. Sie zersetzen das Wasser in seine Bestandteile, in Wasserstoff und Sauerstoff; beide Gase entstehen gleichzeitig und entweichen miteinander vermischt als Knallgas. Nach den Untersuchungen von Ramsay nnd Soddy (1903) entwickelt eine Lösung von 1 g reinem Radiumbromid in Wasser pro Tag ungefähr 10 ccm Knallgas. Eine Zersetzung des Wassers wird bekanntlich auch von einem hindurchfließenden elektrischen Strome zuwege gebracht; während jedoch in diesem Falle der chemische Vorgang nur so lange dauert, als der Strom fließt,

d. h. ſo lange, als ein Aufwand an elektriſcher Energie ſtattfindet, vollzieht er ſich im Falle der Gegenwart eines Radiumſalzes unausgeſetzt von ganz allein, bedarf alſo nicht im geringſten der Zufuhr irgend einer äußeren Kraft.

Die Zerlegung des Waſſers beruht auf der zerſetzenden Wirkung der von den Radiumatomen ausgehenden Strahlung. Dieſe Strahlen üben auch in gewiſſer Ferne ihren chemiſchen Einfluß aus, davon zeugt ſchon die Photographierbarkeit, denn alle Veränderungen, welche die photographiſche Platte bei Beleuchtungen oder Beſtrahlungen erleidet, ſind chemiſcher Natur. Einige andere chemiſche Prozeſſe, welche die Radiumſtrahlen hervorrufen, ſind: die Umwandlung des gelben in roten Phosphor, ferner die Violett- oder Braunfärbung von anfänglich farbloſen Gläſern, ſchließlich die Ausſcheidung von freiem Jod aus in Chloroform gelöſtem Jodoform.

Das Radium übt verſchiedenartige phyſiologiſche Einflüſſe aus. Die menſchliche Haut wird, auch wenn das Präparat ſie nicht unmittelbar berührt, gereizt und rötet ſich wie bei einer Verbrennung. Bei längerer Wirkung artet der zuerſt auftretende Fleck zu einer Entzündung aus, und die Wunde heilt nur ſehr langſam und unter Zurücklaſſung einer Narbe. Das Arbeiten mit reinen Radiumſalzen iſt daher keineswegs ungefährlich und bedarf ſtets der Vorſicht. Es empfiehlt ſich, die Salze in Gefäße oder Kapſeln aus Blei zu verbringen, um ſo die Wirkung nach außen abzuſchneiden. Kleinere Lebeweſen gehen in der Nähe der Präparate zugrunde. So verlieren Raupen ihre Bewegungsfähigkeit und ſterben ſchließlich. Das Wachstum von Bakterien wird geſtört und die Keimfähigkeit von Körnern, etwa der Kreſſe oder des weißen Senfes, vernichtet. Man hat die Radiumſalze ſchon bei Hautkrankheiten und Krebs angewendet und auch

Erfolge erzielt; weitere Erfahrungen sind indessen noch abzuwarten.

Von Interesse ist, daß das menschliche Auge unter gewissen Bedingungen die Strahlen des Radiums wahrzunehmen vermag. Ein im Dunkeln gut ausgeruhtes Auge empfindet bei völlig geschlossenen Lidern das Heranführen eines Radiumsalzes als deutlichen Lichtschein. Ja, es bemerkt den Schein sogar, wenn das Präparat an die Schläfe oder auf den Kopf gebracht wird. Die Empfindung kommt durch die tiefeindringenden Strahlen zustande, welche beim Auftreffen auf die das Auge bildenden Substanzen letztere zur Fluoreszenz, zum Leuchten erregen. Man hat davon gesprochen, Blinden die Außenwelt mit Hilfe derartiger Lichteindrücke zugänglich zu machen; das hat selbstverständlich nur dann einige Aussicht, wenn Netzhaut und Sehnerv noch erhalten sind und funktionieren, denn ohne diese kann ja kein Lichtreiz wahrgenommen werden.

3. Die Natur der Radiumstrahlen.

Die von Radiumpräparaten ausgehende Strahlung besitzt nur zu einem ganz geringen Bruchteil die Eigenschaften der Röntgenstrahlen. Drei Strahlentypen, die E. Rutherford (Manchester) durch die griechischen Buchstaben Alpha, Beta und Gamma (α, β und γ) unterscheidet, treten deutlich hervor, und von diesen sind es nur die γ-Strahlen, die sich mit den Röntgenstrahlen vergleichen lassen. Die Radiumstrahlen pflanzen sich, falls sie an keinem elektrischen oder magnetischen Körper vorbeistreifen, geradlinig fort. Sie unterliegen keiner Brechung und keiner Polarisation, sind also ganz bestimmt keine Art von unsichtbarem Licht. Fallen die Strahlen auf

Metalle, Steine oder andere Materialien, so geht von letzteren eine neue, allerdings viel schwächere Strahlung aus, die man Sekundärstrahlen nennt, die aber nicht durch einfache Reflexion wie beim Lichte zustande kommen.

Man verfügt hauptsächlich über drei Methoden zur Untersuchung der Radiumstrahlen. Die erste, wichtigste und genaueste Methode, die weitaus die meisten Ergebnisse zutage förderte, ist die elektrische. Die zweite benützt die photographische Wirksamkeit, eignet sich in der Regel jedoch nicht zu messenden, sondern nur zu qualitativen Beobachtungen. Die dritte beruht auf der Lichterregung in einem Leuchtschirm und ist darum schon von begrenzter Anwendung, weil nur bei sehr starken Strahlen der Schirm anspricht. Die elektrische Methode hat überdies den großen Vorteil, daß man die Stärke der Strahlung rasch messen kann, während die photographische eine längere Aufnahmezeit erheischt und daher Änderungen, die unterdessen eintreten und sich zusammen auf der Platte überlagern, nicht im einzelnen verfolgbar sind.

Um den Weg zum Verständnis der elektrischen Methode zu ebnen, hat man sich zunächst einige Anschauungen der Physik und der Chemie klar zu machen. Der Ausgangpunkt der Methode ist gegeben durch die Tatsache, daß die Strahlen, sowie sie die Luft durcheilen, dieser augenblicklich Leitvermögen für die Elektrizität erteilen. Die kleinsten Teile der Luft, die Moleküle der Luft, sind in normalem Zustande völlig unelektrisch; sie können aber durch von außen her kommende Einflüsse, etwa durch ultraviolettes Licht oder durch Röntgenstrahlen, so verändert werden, daß sie sich in positiv und negativ geladene Bruchstücke, in *Jonen*, spalten. Man sagt, die Luft ist ionisiert. Die Gegenwart der Jonen ist die wahre Ursache der Leitfähigkeit der Luft; je kräftiger die

Strahlen sind, desto größer ist die Zahl der sich spaltenden Moleküle und die der Jonen und desto höher die Leitfähigkeit. Hört die Bestrahlung wieder auf, so verschwindet die Jonisation augenblicklich wieder, indem sich die Bruchstücke von selbst zurückvereinigen. Für das Problem der Radiaoktivität ist der Umstand, daß auch die Radiumstrahlen die Luft ionisieren, von weittragender Bedeutung geworden.

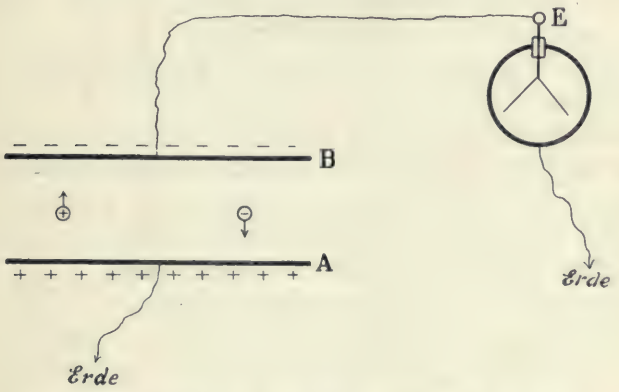


Abb. 2. Nachweis des elektrischen Leitvermögens der Luft.

Die Jonen gehorchen den bekannten Gesetzen über elektrische Abstoßung und Anziehung, und darauf gründet sich das Verfahren, ihre Menge zu ermitteln. Das Prinzip des zur Messung dienenden Apparates ist sehr einfach und wird durch Abb. 2 veranschaulicht. Zwei wagrecht liegende Metallplatten A und B sind übereinander angeordnet. Die obere Platte B steht mit einem Elektroskop E in leitender Verbindung, so daß jegliche elektrische Ladung, die derselben mitgeteilt wird, sich sofort durch das Spreizen der Blättchen des Elektroskops kundgibt. Die untere Platte und ebenso

das Elektroskopgehäuse, welches gegen die Blättchen gut isoliert ist, sind mit der Erde leitend verbunden. Wird die Platte B durch Berührung mit einer durch Reiben negativ erregten Siegellack- oder Hartgummistange elektrisiert, so nimmt die untere Platte A durch Influenz eine positive Ladung an. Der mit Luft erfüllte Raum zwischen den beiden Platten stellt ein sog. elektrisches Feld dar, das bei Abwesenheit von Jonen sich sehr lange unverändert hält. Sind Jonen zugegen, so werden sie den Platten zugetrieben. Die positiven Jonen werden von A abgestoßen und von B angezogen und bewegen sich nach aufwärts. Sie berühren schließlich die Platte B, geben ihre Ladung ab und vermindern die Ladung von B, da ja ungleichnamige Elektrizitäten beim Zusammenfließen sich gegenseitig zu Null ausgleichen. Die negativen Jonen unterliegen entgegengesetzt gerichteten Kräften, gelangen abwärts wandernd zur Platte A, berühren diese, entladen sich und verringern dadurch die Ladung von A. Infolge der Gegenwart von Jonen verschwinden also die Ladungen der Platten, verschwindet das elektrische Feld, dessen Rückgang man deutlich am Elektroskop verfolgen kann. Die anfangs stark gespreizten Blättchen sinken herunter und fallen schließganz zusammen, natürlich um so schneller, je reichlicher Jonen vorhanden sind. Jeder Lage der Blättchen entspricht eine bestimmte, elektrische Spannung, und ist das Elektroskop geeicht, so kann man jederzeit die Spannung in Volt ablesen. Der in Volt angegebene Abfall pro Minute mißt zwar noch nicht direkt die Jonenzahl, läuft ihr aber, wenn man immer mit dem gleichen Apparat arbeitet, parallel und ist daher ein bequemes Vergleichsmaß.

Mit dem eben beschriebenen Apparate gelingt es meist leicht, radioaktive Substanzen miteinander zu vergleichen.

Man breitet sie auf der unteren Platte aus, ladet die obere elektrisch und beobachtet den Spannungsabfall im Elektroskop. Für sehr stark aktive Präparate ist allerdings der Apparat weniger geeignet, da bei diesen der Abfall sich so gut wie augenblicklich vollzieht. Immerhin kann man zeigen, daß durch Überdecken der Substanz mit Metall- oder anderen Blättern die Strahlen, weil ein großer Teil von ihnen verschluckt wird, eine Schwächung erleiden. Je dicker die Blätter sind, desto langsamer vollzieht sich der Abfall.

Der Apparat läßt sich, den verschiedenen Zwecken angepaßt, in vielen Variationen konstruieren, denen man eine sehr große Empfindlichkeit zu geben vermag. Es ist zu berücksichtigen, daß die Leitfähigkeit der Luft, auch wenn sie verhältnismäßig sehr stark ist, keinen Vergleich mit derjenigen der Metalle aushält und ungeheuer viel geringer ist als letztere. Die absolute Zahl der Jonen in der Luft ist nie eine große; so vermag reines Radiumbromid von ungefähr 100 Millionen Luftmolekülen pro Sekunde nur ein einziges in Jonen zu spalten. Die Zahl der in einem Kubikzentimeter Luft erzeugten Jonen hängt natürlich von der Stärke der Strahlen ab nnd kann viele Millionen betragen, welche Menge indessen neben der ungeheuren Zahl der Luftmoleküle immer noch sehr klein ist. Man hat Apparate gebaut, deren Empfindlichkeit so gesteigert ist, daß sie eben noch die Gegenwart eines einzigen Jons pro Kubikzentimeter anzeigen.

Untersucht man die Radiumstrahlen eingehender, so ist vor allem ihre Durchdringungskraft von Wichtigkeit. Ein Teil von ihnen wird schon von dünnen Gegenständen aufgehalten, verschluckt oder absorbiert; ein anderer Teil durchdringt Metallbleche, ohne eine starke Schwächung zu erleiden. Die Prüfung nach der elektrischen Methode zeigt

deutlich, daß die Strahlen beim Passieren eines Hindernisses nicht nur einer einfachen Verminderung ihrer Stärke unterworfen sind, sondern daß sie gewissermaßen einer Siebung unterliegen. Dünne Metallblätter halten gerade diejenigen Strahlen auf, welche die stärkste Jonisation hervorrufen; das erste Blatt nimmt den wirksamsten Teil weg, und jedes weitere Blatt hat nur noch geringen Einfluß. Mindestens zwei Arten von Strahlen sind also anwesend, eine leicht absorbierbare und eine durchdringende. Zieht man noch das Verhalten gegen magnetische Kräfte in Betracht, so entspringt ungezwungen die schon erwähnte Einteilung in drei Arten.

Eine sehr anschauliche Darstellungsweise, welche die typischen magnetischen Unterschiede der drei Strahlenarten gegeneinander abhebt, ist von Frau Curie entworfen worden und durch Fig. 3 wiedergegeben. Man stelle sich vor, in einem Bleiblock B sei eine tiefe, enge, zylindrische Grube eingebohrt, in welche das Radiumpräparat R versenkt sei. Da jegliche seitliche Strahlung durch das stark absorbierende Blei verschluckt und unterdrückt wird, so treten die Radiumstrahlen in Form eines schmalen, geradlinigen, senkrecht in die Höhe steigenden Bündels aus der Höhlung in den umgebenden Raum empor. Diese Strahlenbahn wird augenblicklich eine ganz andere, sowie magnetische Kräfte tätig sind. Man denke sich einen kräftigen Elektromagneten so aufgestellt, daß dessen positiver Pol gerade vor den Bleiblock und der negative dahinter zu liegen und die Verbindungslinie beider Pole senkrecht zur Zeichnungsebene zu stehen komme. Erregt man den Magneten, so werden sofort die drei Strahlenarten auseinandergezerrt. Die den Röntgenstrahlen gleichenden γ-Strahlen sind magnetisch nicht beeinflußbar, behalten ihre geradlinige Richtung bei und gehen

nach wie vor senkrecht in die Höhe. Die β-Strahlen dagegen werden vollständig von ihrem ursprünglichen Weg herausgerissen und krümmen sich sehr stark nach rechts zu kreisförmigen Linien von verschiedenen Durchmessern. Die Ablenkungen von der normalen Bahn sind so groß, daß eine unter den

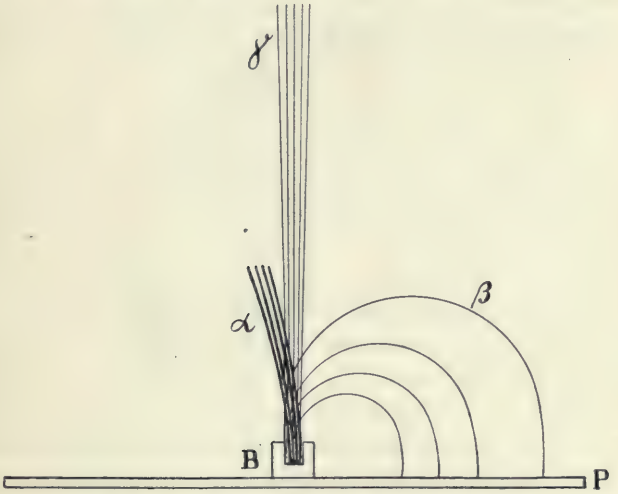


Abb. 3. Die verschiedenartigen Radiumstrahlen.

Bleiblock geschobene wagrechte photographische Platte P von den Strahlen getroffen wird und eine Einwirkung in Gestalt eines breiten, verwaschenen Fleckes zu erkennen gibt. Die α-Strahlen verlassen gleichfalls die geradlinige Bahn; sie biegen jedoch nach entgegengesetzter Richtung aus und schlagen den Weg eines nach links sich hinziehenden Kreisbogens ein, dessen Krümmung indessen eine nur geringe ist, kleiner noch, als dies die nur schematisch gezeichnete Figur zum Ausdruck bringt. Die Bahn ist ganz kurz und nur einige Zentimeter

lang, da die α-Strahlen von der Luft leicht absorbiert werden.

Man kann die verschiedenen Strahlen getrennt voneinander untersuchen. Die α-Strahlen sind leicht auszuschalten, denn sie werden schon von dünnen Gegenständen zurückgehalten. Überdeckt man daher bei der eben beschriebenen Versuchsanordnung den Bleiblock mit einem Metallblatt, so gelangen nur die β- und γ-Strahlen nach außen. Diese beiden letzteren lassen sich dann mit Hilfe des Magneten auseinanderziehen. Die Erforschung der α-Strahlen wird dadurch wesentlich erleichtert, daß es radioaktive Substanzen wie z. B. Polonium gibt, die überhaupt nur diese Strahlenart aussenden. Die wichtigsten Eigenschaften der verschiedenen Strahlenarten seien im folgenden besprochen.

Die α-Strahlen treten bei fast allen radioaktiven Substanzen auf und machen dann den Hauptanteil aus. Sie sind es, die weit mehr als die anderen Strahlen den Erscheinungen der Radioaktivität das besondere Gepräge aufdrücken und vor allem die starke Ionisierung der Luft bedingen. Ihre Durchdringungskraft ist sehr klein; eine Aluminiumfolie, die nicht dicker als 0,02 mm ist, hält sie vollständig zurück. Auch die photographische Wirksamkeit ist eine nur sehr geringe; untersucht man die Strahlung der radioaktiven Substanzen das eine Mal nach der elektrischen, das andere Mal nach der photographischen Methode, so bietet sich die Radioaktivität in ganz wechselnden Bildern dar. Nach der ersten Methode haben die stark ionisierenden α-Strahlen, nach der letzteren die photographisch wirksamen β-Strahlen die Oberhand.

Hält man Umschau nach Strahlengattungen, die einen Vergleich mit den α-Strahlen zulassen, so wird die Aufmerk-

samkeit auf die sog. Kanalstrahlen und somit auf die Vorgänge gelenkt, wie sie sich in Vakuumröhren, in Röntgenröhren abspielen. Eine solche Röhre ist sehr weitgehend ausgepumpt und im Inneren mit einer Kathode und Anode versehen; das sind zwei einander gegenüberstehende Bleche, von welchen das eine, die Anode, zur Zufuhr des elektrischen Stromes, das andere, die Kathode, zur Ableitung desselben dient. Die Kathode bildet den Ausgangspunkt von Strahlungen; senkrecht nach vornen, also in der Regel auf die Anode zu, laufen die Kathodenstrahlen, welche uns später noch weiter interessieren werden. Sind durch die Kathode enge Löcher oder Kanälchen gebohrt, so entwickelt sich an der Rückseite ein gelbes Licht in langer Feuersäule, das aus den Kanälen herauskommt und daher von Goldstein, der sie 1898 entdeckte, Kanalstrahlen genannt wurden. Die Kanalstrahlen schreiten geradlinig fort, sind, wenn auch schwach, magnetisch ablenkbar und führen positive Elektrizität mit sich. Aus ihren Eigenschaften folgt, daß sie aufzufassen sind als ein Schwarm sehr kleiner, positiv elektrisch geladener Körperchen, die mit ungeheurer Geschwindigkeit dahinsausen. Außer durch magnetische kann man auch durch elektrische Kräfte die Bahn beeinflussen, und die sich einstellende Änderung gestattet, mit Hilfe mathematischer Formeln einen Rückschluß auf die Größe der Körperchen zu ziehen. Man fand auf diese Weise, daß sie von der Größe der Atome, etwa eines Wasserstoffatoms, sind.

Mit diesen Kanalstrahlen haben die α-Strahlen viel Ähnlichkeit. Sie sind magnetisch und elektrisch ablenkbar und im Besitz einer positiven elektrischen Ladung. Man muß daher annehmen, daß sie wie die Kanalstrahlen aus kleinen positiven Körperchen bestehen, welche mit ungeheurer Geschwindigkeit

dahinrasen. Man hat aus den Ablenkungen die Geschwindigkeit berechnen können und ganz riesige Werte gefunden, die bereits an die Geschwindigkeit des Lichtes erinnern, und für die Körperchen der α-Strahlen des Radiums 16500 km pro Sekunde erhalten. Das Licht legt bekanntlich in der Sekunde einen Weg von 300000 km zurück. Auch über die Größe der Körperchen gewinnt man durch die Ablenkungen Aufschluß und findet, daß ihre Masse der des Wasserstoffes vergleichbar ist. Rutherford hat durch schöne, noch andere Tatsachen hereinziehende Versuche dargelegt, daß die α-Teilchen, wie man sie kurz nennt, eine viermal größere Masse besitzen als die Wasserstoffatome, und gelangt hieraus zur Anschauung, daß sie positiv geladene, von der radioaktiven Substanz abgeschleuderte Atome des Elementes Helium seien. Wir werden hierauf wieder zurückkommen und bemerken hier nur, daß das Atomgewicht des Heliums in der Tat das Vierfache von dem des Wasserstoffes beträgt.

Die Deutung der α-Strahlen als eine korpuskulare Strahlung, d. h. als ein Schwarm dahinsausender materieller Körperchen, leistet zur Erforschung der Radioaktivität vorzügliche Dienste und erklärt viele sonst unverständliche Tatsachen aufs einfachste. Die Radiumstrahlen erregen wohl die Fluoreszenz der Leuchtschirme, sie tun dies aber je nach ihrer Natur in verschiedenartiger Weise. Die α-Strahlen wirken im Gegensatz zu den anderen sehr stark auf die sog. Sidotblende, einer unter besonderen Bedingungen hergestellten, weißen chemischen Verbindung von Zink mit Schwefel. Ein mit Sidotblende überzogener Schirm leuchtet, sowie ein Radium- oder Poloniumpräparat nahe an ihn herangebracht wird, hell auf. Daß es auch wirklich hauptsächlich nur die leicht absorbierbaren α-Strahlen und kaum die durchdringenden anderen

Strahlen sind, welche den Lichteffekt hervorrufen, ist daraus ersichtlich, daß beim Bedecken des radioaktiven Präparates mit einem absorbierenden Blatte die herrliche Fluoreszenz fast ganz erlischt. Mit dem Leuchten des Sidotblendeschirmes hat es eine eigenartige, höchst merkwürdige Bewandtnis. Betrachtet man den Lichtschein unter dem Mikroskop, so entpuppt er sich keineswegs als kontinuierlicher heller Fleck, wie man dieses von den Fluoreszenzerscheinungen her gewohnt ist. Zahlreiche einzelne, glänzende Lichtpünktchen blitzen an fortdauernd wechselnden Orten des Schirmes auf, vergleichbar dem Sternengefunkel am nächtlichen Firmament. William Crookes, der dieses sonderbare Glitzern entdeckte, hat ein kleines, handliches Instrument, das Spintharifkop, konstruiert, mit dessen Hilfe jedermann die auffällige Erscheinung mit Leichtigkeit sieht. Der Boden eines zylindrischen Gehäuses ist mit dem Schirme S aus Sidotblende belegt, wie dieses Abb. 4 zeigt. Ganz nahe über ihm befindet sich ein Halter H, an dessen freiem Ende unten ein winziger Splitter eines Radiumpräparates befestigt ist. Das Linsensystem L dient als mikroskopische Einrichtung und erlaubt durch Verschieben eine scharfe Einstellung auf den flimmernden Hintergrund. Dieses glitzernde oder scintillierende Leuchten der Blende macht sich bei den α-Strahlen aller radioaktiven Substanzen bemerkbar. William Crookes erhielt es beim Radium und Polonium; ungefähr gleichzeitig fanden es Elster und Geitel an aus Thorium gewonnenen Präparaten. Das Scintillieren läßt sich noch an manchen anderen Schirmen, z. B. bei

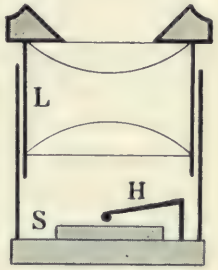


Abb. 4. Spintharifkop (Längenschnitt).

aus Diamantpulver hergestellten, beobachten, es tritt aber nirgends so schön wie bei der Sidotblende auf.

Die Erregung des scintillierenden Leuchtens steht in innigstem Zusammenhange mit der korpuskularen Natur der α-Strahlen. Die radioaktiven Präparate bombardieren den Schirm ununterbrochen mit α-Teilchen, die an jeder Stelle, an welcher sie auf den Schirm mit ihrer ungeheuren Wucht aufstoßen, die dort befindlichen Kriställchen von Sidotblende beschädigen oder gar zersprengen. Das Zerplatzen der Blendekriställchen ist aber stets mit einem Lichtblitz verknüpft; in der Tat überzeugt man sich leicht, daß die Blende gegen mechanische Eingriffe sehr empfindlich ist und schon beim Kratzen oder Zerdrücken aufleuchtet. Jeder Lichtblitz des Schirmes zeigt ein anstürmendes α-Teilchen an; ist der α-Strahl sehr dünn, dann ist es sogar möglich, die einzelnen Blitze zu zählen und damit die Gesamtmenge der von radioaktiven Substanzen ausgeschleuderten Strahlen zu ermitteln. Das Spintharikop ist das erste Instrument, welches uns individuelle Wirkungen eines einzelnen Atomes vor Augen führt.

Das große Ionisierungsvermögen der α-Strahlen beruht auf der ungeheuren Wucht, die den dahinsausenden α-Teilchen innewohnt, und welche letztere befähigt, die sich in den Weg legenden Luftmoleküle in Bruchstücke, in Jonen, zu zerschlagen. Die Zahl der Jonen, die ein α-Teilchen bis zur Erlahmung seiner lebendigen Kraft erzeugt, ist sehr groß und beträgt etwa 100000. Die α-Strahlen hören in einer gewissen Entfernung von dem radioaktiven Präparat merkwürdigerweise plötzlich auf; bis zu dieser Grenze, die man als „Wirkungsbereich" oder „Reichweite" bezeichnet, läßt sich gerade noch die ionisierende, photographische und fluoreszenzerregende Wir-

kung nachweisen. Bragg und Kleeman entwickelten die Theorie, daß sämtliche α-Teilchen, welche von einer gegebenen Art radioaktiver Substanz zur Ausschleuderung gelangen, mit gleich großer Geschwindigkeit losgeschossen werden, und daß sie in der Luft alle eine gleich große Strecke durcheilen, an deren Ende sie völlig absorbiert werden. Diese Strecke, eben der Wirkungsbereich, hat einen bestimmten, experimentell leicht ermittelbaren Wert, der für die α-Strahlen der verschiedenen Substanzen charakteristisch ist. Man kann sich vorstellen, daß die Luft eine Bremswirkung auf die dahinfliegenden Teilchen ausübt, die, wenn ihre anfängliche Geschwindigkeit bis zu einem gewissen Betrage gesunken ist, ziemlich schnell stecken bleiben. Als Beispiel sei angefügt, daß die α-Teilchen des Poloniums eine Anfangsgeschwindigkeit von 16700 km pro Sekunde besitzen, und daß ihr Wirkungsbereich in der Luft bis auf 3,86 cm Entfernung vom Polonium sich erstreckt. Jede Art radioaktiver Substanz ergibt ihre eigenen Werte, so daß man also anzunehmen hat, daß diese Arten mit verschieden starken Kräften die α-Teilchen fortschleudern.

Da die Teilchen, trotz ihrer riesigen Geschwindigkeit selbst in der verhältnismäßig wenig Widerstand bietenden Luft nicht weit kommen, so muß die Zeit, während welcher sie unterwegs sind, von unfaßbarer Kürze sein. Jeder α-Strahl fristet also nur ein verschwindend kurzes Dasein. Ist die Luft verdünnt, dann prallen die α-Teilchen während ihres rasenden Fluges mit weniger Molekülen zusammen; sie erlahmen erheblich langsamer und dringen viel weiter vor; der Wirkungsbereich verlängert sich. Die Bremswirkung eines Gases hängt von der chemischen Zusammensetzung ab und ist nach Bragg der Quadratwurzel aus dem Atomgewichte proportional. In festen Körpern erschöpft sich die Energie

der α-Teilchen beträchtlich rascher, da ein Zusammenprallen mit den viel dichter aneinander gelagerten Molekülen natürlich bedeutend häufiger stattfindet; so schwächt ein Aluminiumblatt von nur einem Tausendstelmillimeter Dicke die Bewegung ebenso stark wie eine Luftschicht von 1,7 mm Länge. Die α-Teilchen vermögen ihre elektrische Ladung an den Körper, in den sie sich verrannt haben und in welchem sie festsitzen, abzugeben; dieser wird dadurch positiv elektrisch. So erklärt sich auch die schon früher erwähnte Entstehung der positiven Ladung von Radiumsalze enthaltenden Glasröhrchen.

Die β-Strahlen bilden denjenigen Teil der radioaktiven Strahlung, auf welchen man angesichts der größeren Durchdringungskraft und der stärkeren photographischen Wirksamkeit zuerst aufmerksam wurde. Sie passieren Hindernisse leichter als die α-Strahlen. Während diese von einer Aluminium- oder Glimmerschicht schon von 0,01 cm Dicke völlig zurückgehalten werden, gelangen die β-Strahlen erst durch eine 0,5 cm dicke Aluminium- oder eine 0,2 cm dicke Bleiplatte zur Absorption. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die β-Strahlen sich keineswegs einheitlich verhalten; ein Teil von ihnen durchdringt auch noch diese Platten, ein anderer Teil dagegen wird schon von dünneren absorbiert. Zeigen demnach die β-Strahlen unter sich selbst erhebliche Abweichungen, so sind sie trotzdem alle von gleichartiger Natur. Allen gemeinsam ist die Ablenkbarkeit durch den Magneten. Die Verschiebung der Strahlenbahn erfolgt bei allen in der gleichen Richtung, nur fällt sie verschieden groß aus.

Die β-Strahlen besitzen die Eigenschaften von Kathodenstrahlen, d. h. von derjenigen Strahlung, welche in Vakuumröhren von der Kathode senkrecht nach vorne zur Aussendung gelangt. Beide Strahlen sind durch Magnete sehr leicht, viel

stärker und in umgekehrter Richtung wie die Kanal- und α-Strahlen ablenkbar. Beide werden auch von elektrischen Kräften abgelenkt, und beide führen eine negative Ladung mit, die sie bei der Absorption durch Metalle an diese abgeben. Alle diese Tatsachen finden die beste Erklärung, wenn man die Kathoden- und die β-Strahlen ebenfalls als ein Schwarm dahinrasender Korpuskel betrachtet, jedoch die Korpuskel in diesem Fall als negativ geladen ansieht. Dadurch versteht man ohne weiteres, daß sie im Gegensatz zu den α-Strahlen die Körper negativ laden und im elektrischen und magnetischen Feld im entgegengesetzten Sinn ihre Bahn verlassen. Man hat aus den magnetischen und elektrischen Ablenkungen die Geschwindigkeit berechnen können und ist auf noch größere Werte als bei den α-Strahlen gestoßen. Die einzelnen β-Strahlen, auch wenn sie vom gleichen radioaktiven Präparat ausgesandt werden, sind, wie schon bemerkt, nicht einheitlich, und dies erklärt sich dadurch, daß sie verschiedene Geschwindigkeiten besitzen. Dieser Unterschied offenbart sich sofort bei der Einwirkung des Magneten und ist auch in der schematischen Abb. 3 S. 21 zum Ausdruck gebracht. Die langsameren Strahlen werden vom Magneten in höherem Grade beeinflußt und krümmen sich viel stärker, während die schnelleren sich dem Einflusse mehr entziehen und gestrecktere Bahnen durcheilen. Die Geschwindigkeiten reichen nahezu an die des Lichtes heran und betragen bis etwa 280 000 km. Zwischen β- und Kathodenstrahlen besteht kaum ein Unterschied. Letztere sind im allgemeinen langsamer und weisen im Mittel eine kleinere Geschwindigkeit, nur etwa von 70 000 km, auf; indessen kennt man auch derartige langsame β-Strahlen.

Die Frage nach der Natur der die β-Strahlen bildenden Kurpuskeln hat eine wahre Umwälzung unserer Auffassung

vom Wesen der Materie gezeitigt und neue Anschauungen von einem Urstoff ins Leben gerufen. Der erste Ausgangspunkt dieser Vorstellung, obgleich er die Tragweite noch nicht ahnen ließ, greift zurück auf die Tatsachen der Elektrochemie. Fließt ein elektrischer Strom durch die wässerige Lösung gewisser chemischer Verbindungen, etwa einer Säure, so tritt eine chemische Zersetzung ein, und die entstehenden Produkte scheiden sich an den die Stromzu- oder Stromableitung bewerkstelligenden, in die Flüssigkeit tauchenden Blechen, d. h. an der Anode und an der Kathode, aus. Die Leitfähigkeit der Lösung beruht auf der Gegenwart von Jonen. Handelt es sich beispielsweise um Salzsäure, so haben positiv geladene Wasserstoffatome und negativ geladene Chloratome die Aufgabe von Jonen übernommen. Während des Stromdurchganges wandern diese Jonen auf die Kathode und Anode zu; die Wasserstoffionen suchen die ihnen entgegengesetzt elektrische Kathode auf, verlieren dort ihre Ladung und werden infolgedessen zu gewöhnlichem, unelektrischem Wasserstoff, der als Gas entweicht; Analoges geschieht mit den Chlorionen an der Anode, doch ist es im Rahmen der hier zu entwickelnden Gesichtspunkte nicht nötig, näher auf dieselben einzugehen. Die Messungen ergeben, daß bei der Entladung von 1 g Wasserstoff die Elektrizitätsmenge von 10000 Einheiten[1] auf die Kathode übertreten. Diese Menge stellt also die Ladung von 1 g im Jonenzustande befindlichen Wasserstoff dar. Das Verhältnis zwischen Ladung und Masse beträgt demnach beim Wasserstoff 10000 : 1. Der Wert dieses Verhältnisses ist unabhängig davon, ob eine große oder eine kleine Zahl von

[1] Sog. elektromagnetische Einheiten. Die hier gegebene Zahl ist abgerundet.

Wasserstoffionen sich an der Kathode entladet, und ändert sich daher auch nicht, wenn nur ein einziges Wasserstoffion ins Spiel kommt. Bezeichnen wir die Ladung, welche das Atom irgendeines Elementes aufnehmen kann, durch den Buchstaben e, nennen wir die Masse dieses Atomes m, so ist das Verhältnis von Ladung und Masse ausgedrückt durch den Quotienten

$$\frac{e}{m}$$

Auf Grund der angestellten Überlegung erkennen wir, daß speziell für den Wasserstoff gilt:

$$\frac{e}{m} = 10000.$$

Wie ist dieses Verhältnis bei den anderen Elementen beschaffen? Wir erhalten die Antwort, wenn wir uns noch weiter mit den elektrochemischen Grundgesetzen beschäftigen. Alle Jonen, die von irgendeiner Lösung beherbergt werden, tragen im einfachsten Falle die gleiche elektrische Ladung, nur ist sie bald positiv, bald negativ. Dieselbe positive Elektrizitätsmenge, die ein Wasserstoffion besitzt, findet sich auf den Jonen des Natriums und vieler anderer Metalle; dieselbe Menge, aber von negativem Vorzeichen, trägt das Chlorion. Die weniger einfachen Fälle unterscheiden sich nur dadurch, daß die Ladung der Jonen genau das Doppelte oder genau das Dreifache von der Ladung eines Wasserstoffions ausmacht; so haben z. B. die Bariumionen eine doppelte Ladung. Diese Regelmäßigkeit hat schon vor der Entdeckung des Radiums die Veranlassung zu einer atomistischen Auffassung der Elektrizität gegeben. Man nimmt an, daß die Elektrizität aus kleinsten, nicht weiter zerlegbaren Atomen bestehe, welche man nach dem Vorschlage von Johnstone Stoney mit dem Worte Elektron benennt. Ein Wasser-

stoffion ist hiernach anzusehen als eine Vereinigung eines Wasserstoffatoms mit einem positiven Elektron; ein Chlorion hält ein negatives Elektron fest, ein Bariumion zwei positive usw. Die Elektrochemie lehrt, daß niemals kleinere Elektrizitätsmengen als Elektronen sich an chemischen Reaktionen beteiligen, auch niemals Mengen, die nicht ganzzahlige Vielfache davon sind, und so bewährt sich die Elektronentheorie allein schon in rein chemischer Hinsicht aufs beste. Aber auch die Optik, also ein rein physikalisches Wissensgebiet, hat von der Elektronentheorie den besten Nutzen gezogen. Um nun die Frage nach dem Werte des Verhältnisses $\frac{e}{m}$ zu beantworten, erinnern wir uns, daß jedes andere Element schwerere Atome als der Wasserstoff hat, daß also das Elektron, wenn es auf anderen Atomen sitzt, mit schwereren Substanzmengen vereinigt ist als im Falle des Wasserstoffions. Das Verhältnis zwischen Ladung und Masse ist daher bei den Atomen aller anderen Elemente kleiner als beim Wasserstoff. Mit anderen Worten: der größte Wert, den das Verhältnis $\frac{e}{m}$ annehmen kann, findet sich beim Wasserstoff.

Und nun zurück zu den Strahlungen! Die magnetische und elektrische Ablenkung gestattet, rein physikalisch den Quotienten $\frac{e}{m}$ für die in den Kathodenstrahlen fliegenden Korpuskeln zu bestimmen. Mehrere Forscher haben sich bemüht, ihn möglichst genau zu ermitteln, und aus vielen Versuchen ergibt sich rund:

$$\frac{e}{m} = 18\,000\,000.$$

Wir bemerken zu unserer Überraschung, daß der Quotient entgegen aller Voraussicht größer als beim Wasserstoff und

zwar beinahe zweitausendmal größer ist. Die einzige mögliche Erklärung, welche sich darbietet, ist die, daß in den Korpuskeln der Kathodenstrahlen das Elektron mit einer Substanzmenge verkettet ist, die nahezu zweitausendmal kleiner ist als ein Wasserstoffatom. Da diese letzteren die kleinsten chemischen Atome sind, so bleibt nur noch die Deutung übrig, daß die Korpuskeln der Kathodenstrahlen die Elektronen selbst seien, und daß diese außer aus Elektrizität auch aus Materie bestehen, nur eben aus über zweitausendmal weniger als beim Wasserstoffatom. Die Kathodenstrahlen entpuppen sich als dahinschießende Garben von negativen Elektronen, eine Auffassung, welche hauptsächlich von J. J. Thomson durch im Jahre 1897 ausgeführte Versuche klargelegt wurde.

Eine Vorstellung von großer Kühnheit und schwerwiegender Bedeutung erweckte die Untersuchung der β-Strahlen. Da sie von gleicher Natur wie die Kathodenstrahlen sind, so haben auch sie als dahinrasende negative Elektronen zu gelten. Von besonderem theoretischen Interesse sind die Werte des Quotienten $\frac{e}{m}$. Walter Kaufmann zeigte, daß mit zunehmender Geschwindigkeit der Elektronen der Quotient abnimmt.

Geschwindigkeit der Elektronen in Kilometern pro Sekunde	Wert des Quotienten $\frac{e}{m}$
236 000	13 100 000
248 000	11 700 000
259 000	9 700 000
272 000	7 700 000
283 000	6 300 000

In den schnellsten β-Strahlen ist der Quotient am kleinsten und somit die materielle Masse des Elektrons am größten. Könnte das Elektron sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, so würde seine Masse sogar unendlich groß. Wir stehen also vor dem großartigen Nachweise, daß die Menge Materie eines Elektrons veränderlich ist, daß sie einen ungeheuren Zuwachs erfahren kann, obgleich nichts dazu- oder wegkommt. Liegt es nicht nahe, zu schließen, daß ebenso wie dieser Zuwachs sogar die gesamte Masse eines Elektrons überhaupt nur eine vorgetäuschte sei? Dann könnte man aber sogleich folgern, daß auch die Materie unserer Elemente nur scheinbar sei. Bereits hat sich die Forschung dieses Gedankenganges bemächtigt, die Elektronen als Urstoff hingestellt und Versuche gemacht, aus der Bewegung der Elektronen, umgekehrt wie wir es taten, den Begriff der Materie abzuleiten. Wir werden noch Gelegenheit haben, auf diese die naturwissenschaftlichen Grundvorstellungen bis in den tiefsten Kern berührenden Überlegungen zurückzugreifen.

Die Anschauung, daß die β-Strahlen negative Elektronen sind, welche von der radioaktiven Substanz hinausgeschleudert werden, harmoniert aufs vorzüglichste mit allen bekannten Tatsachen. Die von den Strahlen mitgeführte negative Ladung wurde von Herrn und Frau Curie nachgewiesen. Treffen die Strahlen auf dicke Metallscheiben, so tritt völlige Absorption ein. Die mitgebrachte Elektrizität geht auf das Metall über, welches jedoch die Ladung nicht beibehält, weil ja durch die Strahlen die umgebende Luft leitfähig geworden ist und ein Abströmen der Ladung erlaubt. Bettet man die Scheibe in isolierendes Material ein, so ist dieser Störung vorgebeugt. Die vom Ehepaar Curie benutzte Vorrichtung ist in Abb. 5 skizziert. Die Metallscheibe M wird ringsumher

von gut isolierendem Material i umschlossen und steht durch den Draht D mit einem elektrischen Meßapparat E in Verbindung. Eine das Ganze umgebende Metallhülle H, die mit der Erde verbunden ist, sorgt dafür, daß sich auf der äußeren Oberfläche nirgends Ladungen ansammeln, die durch Influenz auf M einwirken könnten. Unter die Vorrichtung wird der das Radiumsalz R enthaltende Bleitrog B gebracht. Die Schutzhülle H ist oberhalb dieses Troges dünner gewählt, so daß die β-Strahlen sie durchdringen, während den α-Strahlen der Durchgang versagt ist. Die Metallscheibe

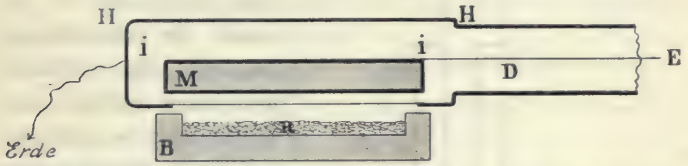


Abb. 5. Nachweis der von den β-Strahlen mitgeführten negativen elektrischen Ladung.

fängt die β-Strahlen auf, und der Meßapparat zeigt eine stetig zunehmende negative Ladung an.

Die α- und die β-Strahlen führen von dem Radiumsalz entgegengesetzte Elektrizitäten fort, jedoch mit dem wesentlichen Unterschiede, daß die β-Strahlen dank ihrer größeren Durchdringungskraft die Ladung an entfernter gelegenen Orten absetzen. Die Konstruktion der früher beschriebenen Radiumuhr Abb. 1 S. 11 stützt sich auf diesen Umstand. Die vom Radium ausgehenden α-Strahlen werden schon von dem Glasröhrchen R verschluckt, daher dessen positive Ladung. Die β-Strahlen dagegen passieren dieses Röhrchen, ferner mit Leichtigkeit den evakuierten Raum und durchdringen schließlich noch die Wand des Gefäßes G. Die negative Elektrizität

wird also nach außen getragen, während die positive im Röhrchen verbleibt.

Die magnetische Ablenkbarkeit der β-Strahlen hängt von der Geschwindigkeit der Elektronen ab. Sie ist bei den langsamen Strahlen größer, jedoch in allen Fällen leicht nachzuweisen. Um sie nach der elektrischen Methode festzustellen, kann man sich einer Anordnung wie Abb. 6 bedienen. Ein Radiumsalz R wird in die Höhlung eines Bleiblockes C gebracht; die emporsteigenden β-Strahlen ionisieren den Raum zwischen den beiden über der Höhlung befestigten Metallplatten A und B, so daß die zuvor elektrisierten Platten sich entladen. Der Ladungsabfall kann an dem Elektroskop E abgelesen werden. Um den Einfluß der α-Strahlen sicher auszuschalten, bedeckt man das radioaktive Präparat mit einem 0,01 cm dicken Aluminiumblatte. Wird nun ein Elektromagnet erregt, dessen positiver Pol sich vor dem Bleiblock und dessen negativer sich dahinter befindet, so schlagen die β-Strahlen die Bahn nach rechts ein. Die stark abgebogenen treffen die Bleiwand, kommen hier zur Absorption und gelangen nicht mehr in das elektrische Feld zwischen den Platten A und B. Die Zahl der dieses Feld erreichenden β-Strahlen wird kleiner, daher die Jonisation darin und der

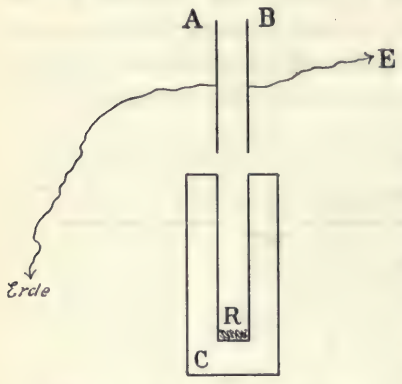


Abb. 6. Nachweis der magnetischen Ablenkbarkeit der β-Strahlen.

Spannungsabfall im Elektroskop geringer. Je stärker man den Elektromagneten erregt, desto mehr zwingt man auch die weniger ablenkbaren Strahlen zur Krümmung, so daß zu guter Letzt kein β-Strahl mehr das Feld erreicht. Der Spannungsabfall im Elektroskop vollzieht sich nur noch langsam, die Jonisation im Feld ist auf einen ganz kleinen Betrag zurückgegangen, der auch bei weiterer Verstärkung der magnetischen Kräfte nicht verschwindet und nur von den übrig gebliebenen γ-Strahlen herstammt.

Die magnetische Ablenkbarkeit kann nach der photographischen Methode, wie schon auf S. 21 betont, sichtbar gemacht werden. Direkt für unser Auge wahrnehmbar tritt sie hervor, wenn man von der fluoreszenzerzeugenden Wirkung der β-Strahlen Gebrauch macht; das Verfahren, das nur bei stark aktiven Präparaten Erfolg verspricht, wird aus Abb. 7 verständlich. Über das in einem Bleizylinder mit einem Aluminiumblech bedeckten Radiumsalz R ist in der Entfernung von einigen Zentimetern ein dickeres Bleiblech B festgehalten und zwar so, daß ein aus dem Blech ausgeschnittenes rundes Loch gerade über dem Präparat seine Lage hat. In einiger Distanz hierüber ist der Leuchtschirm L, etwa ein Bariumplatincyanürschirm, angebracht, auf welchem man im Dunkeln ohne weiteres einen Lichtfleck sieht, der von den das Loch ungehindert passierenden β-Strahlen herrührt. Sowie der Magnet, dessen Pole sich in der Höhe des Loches befinden, erregt wird, verschiebt sich der Fleck, wobei er jedoch nicht rund bleibt, sondern sich stark verzerrt und in der

Abb. 7. Sichtbarmachen der magnetischen Ablenkung der β-Strahlen.

Richtung nach rechts in die Länge zieht, einfach deswegen, weil nicht alle Strahlen gleich weit abgelenkt werden.

Von der Ablenkbarkeit der β-Strahlen wird bei vielen radioaktiven Untersuchungen Gebrauch gemacht. So kann man z. B. Sekundärstrahlen[1], die als langsame β-Strahlen aufzufassen sind, so stark krümmen, daß sie auf den Körper, der sie aussendet, wieder zurückkehren. Ihre Wirkung nach außen hin ist dadurch aufgehoben oder doch wenigstens herabgedrückt.

Die Fähigkeit, die Luft zu ionisieren, ist bei den β-Strahlen erheblich kleiner als bei den α-Strahlen. Es hängt dies wohl damit zusammen, daß die Elektronen dank ihrer geringeren Dimensionen auf gleich langen Wegstrecken während ihres Fluges weniger häufig Kollisionen ausgesetzt sind als die α-Teilchen und auch trotz ihrer rascheren Bewegung eine weniger intensive Stoßkraft ausüben. Ebenfalls die festen Körper verwehren den Elektronen das Durcheilen weniger als den α-Teilchen. Die kleineren Elektronen schlüpfen leicht zwischen den Molekülen des Körpers durch und büßen weniger von ihrer rasenden Bewegung ein. Die schnellsten Elektronen sind die rücksichtslosesten und kommen am ungehindertsten durch und bilden daher die β-Strahlen von größter Durchdringungskraft. Schnelle Strahlen entziehen sich dem Einflusse des Magneten am meisten, und so versteht man, daß die durchdringendsten Strahlen die geringsten Ablenkungen aufweisen. Selbstverständlich finden nicht alle Elektronen den Durchgang durch den Körper und werden zurückgehalten; andere erleiden nur eine Verminderung ihrer Geschwindigkeit, und viele werden die ursprüngliche Bahn verlassen, so daß also sowohl eine

[1] Siehe S. 16.

Schwächung wie eine Zerstreuung der Strahlen sich bemerkbar macht. Die Absorption der Strahlen ist demnach eine ziemlich komplizierte Erscheinung, von der man bis jetzt in der Hauptsache nur weiß, daß sie im großen ganzen um so größer ausfällt, je höher das spezifische Gewicht oder die Dichte des betreffenden Körpers ist. Die schweren Metalle, besonders das Blei, absorbieren am meisten; leichte Materialien wie Holz und Papier sind sehr durchlässig.

Die fluoreszenzerregende Wirkung ist bei den β- und α-Strahlen nicht dieselbe. Der Sidotblendeschirm leuchtet viel schwächer, das Scintillieren ist von bedeutend geringerer Intensität; immerhin ist es vorhanden, und so hat man schon geschlossen, daß die scintillierende Wirkung auf diesen Schirm eine Eigenschaft sämtlicher korpuskularer Strahlungen sei. Eine Reihe von Mineralien leuchtet nur mit β-, nicht aber mit α-Strahlen. So fluoresziert der Kunzit, der eine durchsichtige, edelsteinartige Abart des Spodumens ist, mit prachtvoll rötlicher Farbe. Der Sparteït, ein manganhaltiger Calcit, spricht in tief orangerotem Licht an. Eine prächtig grüne Fluoreszenz tritt beim Willemit, einem Zinksilikat, auf. Auch chemische Präparate, etwa die Platincyanüre des Natriums, Calciums und Bariums, sind durch die β-Strahlen zu herrlichem Leuchten erregbar. Glas und Papier geben ein nur schwaches Licht. Eingehend sind Substanzen aus dem Gebiete der organischen Chemie untersucht worden; vor allem haben sich dabei Stoffe aus der sog. aromatischen Reihe als leuchtfähig erwiesen, also solche, die sich vom Benzol ableiten. Die Erregbarkeit beruht hier auf der ringförmigen Anordnung der Atome und kann durch passende Aneinandergliederung von solchen Ringen überaus gesteigert werden. Die Fluoreszenz der genannten Mineralien und Präparate übt im Dunkeln

einen geradezu zauberhaften Eindruck aus; größere Kristalle erglänzen in weithin sichtbarem farbigem Lichte, das besonders, wenn das erregende Radiumsalz bedeckt ist und sich den Blicken entzieht, gespensterhaft aus der Finsternis hervorquillt.

Die γ-Strahlen machen denjenigen Teil der radioaktiven Strahlung aus, der weder durch magnetische noch durch elektrische Kräfte ablenkbar ist und der das größte Durchdringungsvermögen besitzt. Eine 1 cm dicke Bleischeibe versperrt den α- und β-Strahlen des Radiums völlig den Weg, läßt jedoch die γ-Strahlen durch, die dann noch die Fluoreszenz eines Bariumplatincyanürschirmes hervorzurufen vermögen. Die Absorption wird um so stärker, je höher das spezifische Gewicht ist, dem sie nahezu proportional anwächst. Die schweren Metalle Platin und Blei verschlucken stark, viel weniger tun dies leichte Substanzen wie Aluminium, Glas oder Wasser.

Die Meinungen über die Natur der γ-Strahlen sind noch nicht genügend geklärt, nur so viel dürfte sicher sein, daß die γ-Strahlen den Röntgenstrahlen wesensverwandt sind und sich in der Hauptsache nur durch eine stärkere Durchdringungskraft auszeichnen. Übrigens stellt weder die eine noch die andere von diesen beiden Arten einen einheitlichen Strahlenkomplex dar. Die Röntgenröhren liefern sowohl „harte", stärker durchdringende X-Strahlen als auch „weiche", leichter absorbierbare. In gleicher Weise ist bei den γ-Strahlen zwischen hart und weich zu unterscheiden. Den meisten Anklang findet die Ansicht, daß es sich bei den γ- und den Röntgenstrahlen um im Weltenäther rasch fortgetragene, unregelmäßige Impulse handle, welche ihre Ursache in heftigen, plötzlichen Bewegungsstörungen der Elektronen haben. Prallen

etwa in Röntgenröhren Kathodenstrahlen auf Bleche, so verlieren die heranstürmenden Elektronen plötzlich ihre ungeheure Geschwindigkeit, wodurch jedesmal im umgebenden Äther Kräfte wachgerufen werden, die sich in einer kurzen Stoßwelle fortpflanzen. Ähnliches dürfte sich ereignen, wenn Elektronen plötzlich von radioaktiven Atomen abgeschleudert werden. Sucht man nach einem anschaulichen Vergleich mit bekannten Vorgängen, so könnte man an ein abfeuerndes Geschütz denken. Das Geschütz entspräche dem radioaktiven Atom und das Geschoß dem Elektron. Die Rolle des Weltenäthers käme der Luft zu, und die γ-Strahlen hätten in dem sich fortpflanzenden Knall ihr Analogon. Nach diesem Bilde haben die γ-Strahlen als eine die β-Strahlen begleitende Erscheinung zu gelten, und tatsächlich treten die einen nur auf, wenn auch die anderen vorhanden sind.

4. Die Emanation des Radiums und die erregte Radioaktivität.

Gegenstände, die sich in der Nachbarschaft eines Radiumpräparates befinden, werden selbst radioaktiv. Sie senden dann ihrerseits Strahlen aus, auch wenn sie gar nicht mit dem Präparat in Berührung waren. Diese von den Gegenständen erworbene Eigenschaft nennt man induzierte, mitgeteilte oder erregte Radioaktivität.

Die erregte Radioaktivität hat eine Ursache eigentümlicher Art und rührt, wie man sich leicht überzeugt, nicht von den Radiumstrahlen her. Bringt man in einen geschlossenen Raum von ganz beliebiger Gestalt, etwa in den durch Abb. 8 angedeuteten Kasten eine unbedeckte, das Radiumsalz enthaltende Schale R, so

werden alle gleichzeitig miteingelegten Körper radioaktiv, und zwar unabhängig von dem Ort, an welchem sie sich befinden. Wird der Raum durch eine dicke Bleiwand B beinahe ganz in zwei Kammern geteilt, so nimmt sogar ein hinter ihr ruhender Gegenstand G, obgleich er gegen die Radiumstrahlung geschützt ist, allmählich Radioaktivität an. Das Material des Gegenstandes ist dabei von geringer Bedeutung; Metalle aktivieren sich ebenso wie Glas oder Hartgummi oder Papier.

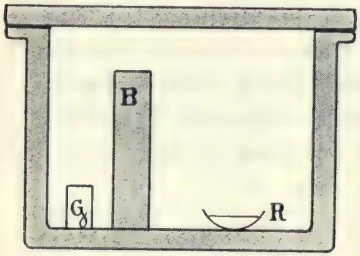


Abb. 8. Übertragung der Radioaktivität.

Wesentlich für das Zustandekommen der Erscheinung ist der Umstand, daß das Radiumsalz offen in der Schale liegt. Ruht es in einem dichtverschlossenen Gefäße, so bleibt, obwohl die Strahlen noch den Kasten durchfluten, die Wirkung aus.

Wie vermag das Radiumpräparat die Aktivität zu übertragen, wenn die Strahlungen sich nicht daran beteiligen? Wirkt vielleicht die im Kasten anwesende Luft mit? Diese Luft hat in der Tat neue Eigenschaften gewonnen. Sie ist radioaktiv geworden, denn sie hat Leitfähigkeit angenommen und leitet merkwürdigerweise immer noch, auch wenn sie aus dem Kasten in ein anderes Gefäß herübergeblasen, also der Einwirkung der Radiumstrahlen entzogen wird. Die Luft ist jetzt durch die Gabe ausgezeichnet, sich selbst zu ionisieren. Alle Körper, die mit ihr in Berührung kommen, werden radioaktiv.

An Stelle der Luft kann ein anderes Gas gewählt werden; dadurch wird die Übertragung der Radioaktivität nicht

verhindert und nur eben auch dieses andere Gas aktiviert. Eine spezifische Wirkung der Luft besteht demnach nicht. Da auch im Vakuum, also wenn der Kasten luftleer gepumpt ist, die Übertragung noch stattfindet, so bleibt keine andere Erklärung als die, daß das Radiumpräparat einen gasförmigen Stoff entwickelt, der gleichfalls radioaktive Eigenschaften besitzt, und der sich mit der Luft oder den anderen Gasen vermischt und sich in ihnen ausbreitet. Damit wird sofort begreiflich, warum das Radiumsalz nicht in einem verschlossenen Gefäße sein darf; es wäre ja sonst der gasförmige Stoff abgesperrt und sein Entweichen in die Umgebung verhindert. Man bezeichnet diesen von Radiumpräparaten abgegebenen, gasförmigen Stoff als Radiumemanation.

Die Radiumemanation entwickelt sich ununterbrochen aus den Radiumpräparaten. Sie ist sehr stark radioaktiv, und so genügen schon die winzigen Spuren, in welchen sie entsteht und sich in der Nachbarschaft verbreitet, vollständig, um überall in der Nähe alles mit Radioaktivität anzustecken. Infolgedessen sind in einem Zimmer, in welchem mit Radium längere Zeit gearbeitet wird, schließlich alle Einrichtungen und Gegenstände radioaktiv, die Wände und Tische, die Geräte und Apparate, so daß dieser Raum zur Ausführung von Beobachtungen und Messungen untauglich wird. Wie eine stark riechende Substanz, etwa gleich dem Moschus, dringt die Emanation überall ein, ihre Spuren lange Zeit hinterlassend.

Luft, die mit Radiumemanation geschwängert ist, verliert die Radioaktivität allmählich wieder, ist aber selbst nach Wochen noch nicht ganz davon befreit. Bewahrt man die radioaktive Luft in einem Gasometer auf und entnimmt daraus von Zeit zu Zeit Proben, die man auf Leitfähigkeit untersucht, so zeigt sich, daß in nicht ganz vier Tagen die

Aktivität auf die Hälfte sinkt. Die Radiumemanation ist also ein Stoff von vergänglicher Existenz.

Die Radiumpräparate lassen nur einen sehr kleinen Teil der von ihnen gebildeten Emanation entweichen, z. B. reines Radiumbromid nur etwa 5 % derselben. Ein anderer, viel größerer Teil wird von ihnen zurückgehalten und aufgespeichert, kann aber leicht dadurch herausgeholt werden, daß man das Präparat auf Rotglut erhitzt. Hierbei entweicht der ganze Vorrat in kurzer Zeit auf einmal, und die Luft kann sich tausendmal stärker aktivieren als bei gewöhnlicher Temperatur. Das erkaltete Präparat emaniert zunächst nicht mehr oder nur sehr schwach. Die Emanation muß erst wieder nach und nach aufs neue entstehen und sich aufstapeln, und in dem Maße, als dieses geschieht, gewinnt das Präparat aufs neue die Fähigkeit zu emanieren. Ist sehr kräftig geglüht worden, dann ist unter Umständen das Vermögen zu emanieren ganz verschwunden. Trotzdem entsteht in dem Präparat immer noch Emanation, sie wird nur sehr fest, viel hartnäckiger als vorher, zurückgehalten, so daß sie, ehe sie in die Umgebung entweichen kann, schon ihr vergängliches Dasein ausgekostet hat. Ein solches Präparat gewinnt die Fähigkeit zu emanieren sofort zurück, wenn man es aus Wasser umkristallisiert. Hierdurch wird bewiesen, daß das Glühen dem Prozeß, welcher aus Radium den als Emanation bezeichneten Stoff erzeugt, keinen Eintrag tut.

Ganz frisch hergestellte Radiumpräparate enthalten noch keine Emanation, sind also nicht so stark radioaktiv wie ältere. Um Versuche mit möglichst angereicherter Radiumemanation auszuführen, geht man am besten von einem mehrere Monate alten Radiumbromid aus und gewinnt dessen aufgespeicherte Emanation durch Erhitzen. Man kann das Bromid auch in

wenig Wasser lösen, das sich in einem verschließbaren Gefäße befindet. Die Emanation tritt aus dem Wasser sehr leicht in die darüber ruhende Luft über und kann mit dieser fortgeleitet werden. Die Lösung produziert andauernd frische Emanation; läßt man neue Luft in das Gefäß ein, so ist diese nach acht Tagen so gesättigt damit, daß sie zu anderen Versuchen zur Verfügung steht. Auf diese Weise vermag man aus dem Gefäße beliebig oft Radiumemanation zu entnehmen. Wie wir bereits erfuhren, entwickelt die wässerige Lösung einer Radiumverbindung anhaltend Wasserstoff und Sauerstoff. Dieses aus der Lösung entweichende Knallgas ist radioaktiv, da es die gleichzeitig entstehende Emanation mitnimmt. Gase, die größere Mengen Emanation enthalten, vermögen die Fluoreszenz des Glases zu erregen, so daß man an dem Fortwandern des Leuchtens in einer Röhre das Durchströmen des Gases beobachten kann.

Die Radiumemanation ist bei gewöhnlicher Temperatur ein Gas. Bei tiefer Kälte verflüssigt sie sich. Rutherford und Soddy leiteten durch eine von außen stark gekühlte Kupferspirale emanationshaltige Luft, deren Aktivität sie nach dem Austritt aus der Spirale maßen. Sinkt die Kälte auf -154°, so ist die ausströmende Luft nicht mehr radioaktiv. Die Emanation hat sich als unsichtbar feine Haut auf der Wand der Spirale abgesetzt. Steigt die Temperatur um 4°, also auf -150°, so verflüchtigt sich die Emanation wieder, und ein durchziehender Luftstrom führt die Aktivität wieder fort. Die Radiumemanation kann also wie unsere wohlbekannten Gase kondensiert und wieder vergast werden. Es gelingt auch, die Emanation ohne Luft in nahezu reinem Zustande herzustellen. Ramsay und Gray vermochten sogar, sie als ein sichtbares, winziges, flüssiges Tröpfchen zu gewinnen; dasselbe

ist farblos, siedet bei 62° Kälte und erstarrt bei noch stärkerer Abkühlung zu einer anfangs intensiv blau, später gelb leuchtenden festen Masse.

Die Radiumemanation zeichnet sich durch eine vollkommene chemische Trägheit aus. Sie ist unfähig zu irgendeiner chemischen Reaktion. Die Aktivität ändert sich nicht im geringsten, wenn man die emanationshaltige Luft durch Säuren oder Laugen leitet. Die Emanation bleibt unverändert bestehen, wenn man sie durch eine weißglühende Platinröhre führt; sie widersteht der Einwirkung rotglühenden Magnesiums, Zinks, Magnesiumkalks, Palladiums und wird auch von rotglühendem Bleichromat nicht angegriffen. Selbst wenn man sie über Ätzkali mit Sauerstoff vermischt und dann stundenlang elektrische Funken durchschlagen läßt, ist keine Änderung zu spüren. Von allen chemischen Stoffen sind nur einige wenige Elemente bekannt, denen alle diese Mittel nichts anhaben können, und das sind die Edelgase. Die Radiumemanation reiht sich diesen ebenbürtig an und muß also gleich dem Helium, Argon, Neon, Krypton, Xenon als ein Element gelten.

Versuche, das Atomgewicht der Radiumemanation zu ermitteln, haben noch keinen endgültigen und genügenden Abschluß gefunden. Man ging so vor, daß die Diffusionsgeschwindigkeit der Emanation bestimmt und mit der des Quecksilberdampfes verglichen wurde. Unter der Voraussetzung, daß die Moleküle der Emanation wie die der anderen Edelgase nur aus einem einzigen Atom bestünden, berechnen sich daraus für das Atomgewicht Werte, die ungefähr bei 235 liegen. Andere Versuche und theoretische Vermutungen führen zu kleineren Zahlen.

Die Bildung einer radioaktiven Emanation aus Radiumpräparaten wurde von E. Dorn im Jahre 1900 entdeckt,

angeregt durch die wundervollen Versuche Rutherfords, der kurz vorher das Auftreten gasförmiger radioaktiver Produkte beim Thorium nachgewiesen hatte. Rutherford zeigte, daß das eigentümliche, unfaßbare, von Thorpräparaten ausgehende Etwas die Gase ionisiert, photographisch wirkt, durch poröses Papier oder Wattepfropfen wandert, dagegen schon von einer dünnen Glimmerplatte zurückgehalten wird.

Die radioaktiven Eigenschaften der Radiumemanation sind von sehr merkwürdiger Art und aus diesem Grunde schon von vielen Forschern äußerst eingehend bearbeitet worden. Die Emanation sendet α-Strahlen aus und erregt daher, sowie sie stärker angereichert wird, einen Sidotblendeschirm, gegen den sie strömt oder der sich in ihr befindet, zu kräftigem Leuchten. Diese α-Strahlung bildet aber auch die einzige Strahlenart, die von ihr ausgeht. Rutherford verbrachte eine verhältnismäßig große Menge der Emanation in einen Kupferzylinder, dessen Wand so dünn gewählt wurde, daß wohl β- und γ-Strahlen, aber nicht α-Strahlen nach außen dringen können. Der Zylinder entfaltet anfänglich fast gar keine Außenwirkung, wodurch die Abwesenheit von β- und γ-Strahlen bewiesen ist. Nach einigen Stunden treten zwar diese Strahlen deutlich auf, rühren dann aber nicht von der Emanation her, sondern von der erregten Aktivität, mit welcher die Gefäßwand sich allmählich ansteckt.

Die Radiumemanation ist ein typisches Beispiel für eine radioaktive Substanz, die auf Grund der chemischen Eigenschaften trotz ihrer Vergänglichkeit zu den Elementen zu zählen ist. Wir haben in ihr einen chemischen Grundstoff, der während der Untersuchung unter der Hand wieder verschwindet und nur ein beschränktes Dasein fristet. Die radioaktiven Elemente erfordern also einen neuen Begriff, welcher für die gewöhn-

lichen keinen Zweck hat, und dieser Begriff ist: die Lebensdauer. Jedes radioaktive Element hat seine eigene Lebensdauer; die einen bestehen länger, die anderen vergehen rascher. Die Geschwindigkeit, mit welcher sie der Zerstörung anheimfallen, kann abweichend von allen herkömmlichen chemischen Erfahrungen von Menschenhand nicht beeinflußt werden. Die Radiumemanation verschwindet nicht schneller und nicht langsamer, ob man sie erhitzt oder abkühlt; P. Curie zeigte, daß sie bei 450° Wärme geradeso abklingt wie bei 180° Kälte. Die Lebensdauer stellt also eine unveränderliche Zahl dar, die für ein Element ebenso charakteristisch ist wie das Atomgewicht.

Das Gesetz, welches die Geschwindigkeit der Selbstzerstörung eines reinen radioaktiven Elementes regelt, ist überaus einfach. Diese Geschwindigkeit ist in jedem Augenblick der momentan vorhandenen Menge des Elementes direkt proportional. Bei Beginn eines Versuches, solange man noch die frische Emanation hat, ist die Menge derselben am größten und infolgedessen auch die Geschwindigkeit des Verschwindens; nach einigen Tagen hat sich die Menge vermindert, und dementsprechend ist auch die Geschwindigkeit des Abnehmens viel geringer. Zuletzt, wenn nur noch sehr wenig Emanation zugegen ist, vollzieht sich das Verschwinden sehr langsam, und die allerletzten Reste gehen überaus träge weg. Kleidet man das genannte Gesetz in eine mathematische Formel ein, so nimmt es die Gestalt einer geometrischen Progression an und kann folgendermaßen ausgesprochen werden: In gleichen Zeiträumen sinkt die Menge einer reinen radioaktiven Substanz stets auf den gleichen Bruchteil, unbekümmert darum, ob der Zeitraum in der Mitte oder am Beginn oder am Ende der Existenz der radioaktiven Substanz liegt.

Ein Bruchteil, der sich als sehr praktisch erwiesen hat, ist die Hälfte. Die Zeit, welche ein radioaktives Element beansprucht, bis seine Menge auf die Hälfte sinkt, wird als Halbierungskonstante bezeichnet. Die Halbierungskonstante der Radiumemanation beträgt 3,75 Tage, d. h. 3 Tage 18 Stunden. Die Aktivität der Emanation geht jedesmal in dieser Zeit auf die Hälfte herunter, unbeschadet davon, ob die Emanation frisch hergestellt oder ob sie schon älter ist, unabhängig von der Zeit, die bis zu dem Augenblick verflossen ist, von welchem ab man das Abklingen verfolgt.

Die Halbierungskonstante steht in naher Beziehung zur Lebensdauer, denn je länger letztere ist, desto langsamer klingt die Radioaktivität ab, und desto mehr Zeit ist erforderlich, bis der halbe Wert erreicht ist. Da die letzten Augenblicke des Verschwindens, wie gezeigt, sich sehr hinausziehen und, wollte man die mathematische Theorie exakt gelten lassen, sogar in unendliche Ferne rücken, so empfiehlt es sich, den Begriff der Lebensdauer etwas genauer zu fassen. Das Abnehmen der Radioaktivität eines Produktes werde von einer beliebigen Zeit an verfolgt. Man denke sich an Stelle des tatsächlichen Verlaufes des Abklingens einen anderen, bei welchem die Geschwindigkeit des Abklingens nicht kleiner werde, sondern sich stets gleich bleibe. Diese Geschwindigkeit sei gleich der am Anfang des Versuchs beobachteten. Die Zeit, welche dieser fingierte Verlauf beansprucht, bis die betreffende radioaktive Substanz verschwunden ist, nennt man mittlere Lebensdauer. Halbierungskonstante und mittlere Lebensdauer sind durch eine mathematische Beziehung miteinander verknüpft; dividiert man erstere durch 0,7, so erhält man letztere[1].

[1] Die Zahl 0,7 ist der abgerundete Logarithmus nat. von 2.

Obgleich die mittlere Lebensdauer nur ein fingierter Begriff ist, eignet sie sich doch zur Veranschaulichung des verschieden langen Lebens der radioaktiven Elemente sehr gut. Dazu kommt noch, daß sie gewisse mathematische Vorteile bietet. Rechnet man die mittlere Lebensdauer in Sekunden aus, dividiert die so erhaltene Zahl in eins, so bedeutet der so gewonnene Wert den Bruchteil, der in einer Sekunde von der radioaktiven Substanz verschwindet. Wenn im folgenden von der Lebensdauer die Rede ist, so sei darunter stets nur die mittlere verstanden.

Die Lebensdauer der Radiumemanation beträgt hiernach 5 Tage 8 Stunden oder 467 000 Sekunden. Der Bruchteil der Emanation, der in einer Sekunde verschwindet, ist demnach $\frac{1}{467\,000}$.

Angesichts des Umstandes, daß die radioaktiven Elemente, wie etwa die Emanation, ein nur kurzes Dasein fristen, ist die Frage nach ihrem Ursprung von hervorragender Bedeutung. Es ist unmöglich, daß diejenigen Mengen eines kurzlebigen radioaktiven Elementes, die der Mensch gegenwärtig in Händen hat, von jeher im Weltall vorhanden gewesen sind. Sie wären in der fernen Vergangenheit längst untergegangen. Diejenigen Mengen, die wir jetzt haben, müssen in der Gegenwart aufs neue entstehen. Dies trifft für die Radiumemanation zu, denn sie verschwindet nicht nur, sondern sie wird aus dem Radium stets ununterbrochen nachgebildet. Ein gegebenes Radiumpräparat erzeugt in jeder Sekunde genau so viel Emanation, als davon verschwindet, so daß also die Gesamtsumme von in jedem Augenblick vorhandener Emanation keiner Veränderung unterliegt. Rutherford und H. Geiger haben berechnet, daß die Gesamtsumme Emanation,

welche einem Gramm Radium entspricht, in reinem Zustande 0,585 cmm ausmacht, und die von ersterem ausgeführten direkten Messungen mit gereinigter Emanation, die aus 250 mg Radiumbromid gewonnen war, bestätigen diesen Betrag.

Die Tatsache, daß die zu einem gegebenen Radiumpräparat gehörende Gesamtsumme der Emanation einen unveränderlichen Betrag darstellt, hat eine höchst auffällige Tatsache zur Folge. Man beraube das Präparat nach irgendeinem Verfahren völlig seiner Gesamtemanation, sammle diese auf und verfolge ihr Abklingen. Gleichzeitig beobachte man, wie das Präparat sich wieder erholt, und man wird finden, daß in ganz demselben Tempo, in welchem es seine Emanation wieder ergänzt, die vorher von ihm abgetrennte abnimmt. Dabei ist ganz gleichgültig, wo die letztere sich befindet, ob sie im gleichen Zimmer oder in einem ganz anderen Raum aufbewahrt wird, ob sie nahe beim Radiumpräparat bleibt oder nicht. Gerade zu der Zeit, zu welcher sie vollends verscheidet, hat das Präparat das Maximum an Emanation zurückgewonnen, sich wieder in aller Vollständigkeit regeneriert.

Jede Frage löst ein neues Rätsel aus. Was wird aus der dem Untergang geweihten Emanation? Sie verwandelt sich in neue radioaktive Stoffe, die sich in Form eines unsichtbar zarten Hauchs auf Gegenständen niedersetzen und so die Erscheinung der erregten Radioaktivität hervorzaubern. Nebenher vollzieht sich noch ein anderer Vorgang; die Emanation erzeugt einen neuen gasförmigen Stoff, der nicht mehr radioaktiv ist und die Eigenschaften eines bekannten chemischen Elementes besitzt. Die Emanation ist in **Helium** übergegangen. Ramsay und Soddy haben im Jahre 1903 diese Tatsache, die später von mehreren Seiten bestätigt wurde, entdeckt. Das Element Radium liefert die Emanation und

diese das Element Helium. Die Umwandlung der Elemente ist nicht mehr eine phantastische Wahnidee; sie ist zur sicheren wissenschaftlichen Tatsache geworden.

Das Helium ist ein Element, von dessen Existenz man noch nicht lange etwas weiß. Lockyer und Frankland beobachteten im Jahre 1869 bei der spektralanalytischen Untersuchung der Sonne Linien, die keinem bekannten irdischen Stoffe zuzukommen schienen. Sie vermuteten, daß es sich um ein nur auf der Sonne vorhandenes Element handle, das sie daher Helium nannten. Anzeichen für das Auftreten auch auf unserer Erde begegnete man bei Auswürfen des Vesuvs; der bestimmte Nachweis geschah jedoch erst im März 1895 durch die Experimente Ramsays, des Trägers des Nobelpreises vom Jahre 1904. Das Helium wurde im Cleveït, einem seltenen uranhaltigen Mineral, aufgefunden und aus diesem durch Erhitzen für sich allein oder mit verdünnter Schwefelsäure ausgetrieben. Man begegnete ihm bald darauf auf vielerlei Wegen; man erhielt es aus Mineralien, die teils Uran, teils Thorium bergen; man traf es in Mineralwässern an, und endlich gelang der Nachweis, daß es sogar in der Luft, allerdings nur spurenhaft, zugegen ist. Das Helium ist nach dem Wasserstoff das leichteste Gas und hat das zweitkleinste Atomgewicht, nämlich 4, ist chemisch völlig reaktionslos und gehört daher zu der Familie der Edelgase. Man kann es aus diesem Grunde nach rein chemischen Methoden nicht erkennen und nachweisen und ist, wie bei allen Edelgasen, auf das physikalische Verfahren der Spektralanalyse beschränkt. Das zu prüfende Gas wird in eine zweckmäßig geformte Glasröhre, in eine Spektralröhre, gebracht und den Entladungen eines Induktoriums ausgesetzt, wodurch es ins Leuchten gerät. Das ausgestrahlte Licht gelangt in

einen Spektralapparat, wird dort in farbige Linien zerlegt, aus deren Auftreten und Lage auf die Gegenwart oder Abwesenheit von Helium zu schließen ist. Besonders charakteristisch ist eine starke, im Gelbgrün liegende Linie. Diese Untersuchungsmethode ist in den letzten Jahren so verfeinert worden, daß man weniger noch als den milliardsten Teil von einem Gramm Helium erkennen kann.

Die Bildung des Heliums aus der Radiumemanation wurde von Ramsay und Soddy dadurch bewiesen, daß sie die aus 50 mg Radiumbromid gewinnbare Emanation nach Möglichkeit reinigten und in eine kleine Spektralröhre einführten. Das Gas zeigte ein unbekanntes Spektrum, jedoch nur am Anfang. Nach vier Tagen trat das Heliumspektrum in aller Schärfe und mit allen bekannten Linien auf. Von verschiedenen anderen Forschern wurden die Versuche in etwas anderer Form und auch mit größeren Radiummengen wiederholt. Das Radiumsalz wurde in eine Quarzröhre gebracht, diese luftleer gepumpt und zugleich das Ganze auf Rotglut erhitzt. Waren alle Gase, auch die ausgetriebene Emanation, ausgepumpt, so wurde die Röhre zugeschmolzen. So hergestellte Röhren zeigen nach einigen Wochen das vollständige Spektrum des Heliums. Rutherford und Geiger berechnen die aus einem Gramm Radium in einem Jahr entstehende Heliummenge zu 158 cmm. Dewar findet für die tägliche Produktion 0,37 cmm.

Die α-Strahlung der Emanation und ihre Umwandlung in Helium hängen nach der Theorie Rutherfords miteinander zusammen. Durch eine Reihe geistvoller Überlegungen und Versuche erwies er, daß alle Tatsachen die beste Deutung finden, wenn man annimmt, daß die von den Emanationsatomen abgeschleuderten α-Teilchen Atome seien, die eine

Ladung von positiver Elektrizität trügen, und die nach Verlust dieser Ladung nichts anderes darstellten als Heliumatome. Vor kurzem gelang es ihm, durch den direkten Versuch die Richtigkeit seiner Theorie zu erhärten. Die Radiumemanation wurde in ein Glasröhrchen eingefüllt, dessen Wände so dünn waren, daß sie für die α-Strahlen noch durchdringbar sind. Das Glasröhrchen kam in ein größeres äußeres Rohr, das luftleer gepumpt wurde und mit einer kleinen Spektralröhre versehen war. Mit Hilfe letzterer überzeugte man sich, daß anfänglich das äußere Rohr frei von Helium war, nach einiger Zeit aber dieses Gas enthielt. Nach zwei Tagen war die gelbe Linie, nach sechs Tagen das ganze Spektrum des Heliums zu sehen. Da nur α-Teilchen hereingelangen konnten, so ist damit der sichere Beweis erbracht, daß das Helium nur aus ihnen sich bildet. Das Auftreten des Heliumspektrums geschah erst verhältnismäßig spät, jedoch nur deswegen, weil die α-Teilchen dank ihrer enormen Geschwindigkeit tief in das Glas des äußeren Rohres hereinrennen und nun Zeit erfordern, bis sie nach ihrer Umwandlung in Heliumatome wieder herausgelangen. Als das dünnwandige Glasröhrchen mit Bleiblech umgeben wurde, ließ sich das Heliumspektrum frühzeitiger beobachten, weil die α-Teilchen weniger tief eindringen.

Die wunderbaren Eigenschaften der Emanation hat Versuche angeregt, auch andere bekannte Elemente durch willkürliche Beeinflussung der radioaktiven Umwandlungen zu erzeugen. Ramsay und Cameron glaubten bei der Einwirkung von Emanation auf Kupferlösungen Argon und Lithium gewonnen zu haben. Dieses Resultat hat sich indessen als irrtümlich erwiesen, und so drängt sich, je reichlicher die Erfahrungen sich ansammeln, desto mehr die Anschauung auf, daß es der

Menschenhand nicht vergönnt ist, in den Verlauf radioaktiver Umwandlungen einzugreifen und ihn nach Gutdünken in die eine oder die andere Bahn zu lenken[1].

Die Emanationsatome erleiden infolge der Abschleuderung eines α-Teilchens, wie zu erwarten, eine stoffliche Umänderung. Sie gehen in die Atome eines neuen radioaktiven Elementes über, das, sich auf den Wänden oder der Oberfläche von Gegenständen niederschlagend, die Erscheinung der erregten Radioaktivität bewirkt. Die Erscheinung wurde vom Ehepaar Curie entdeckt, ungefähr gleichzeitig (1899) hat sie Rutherford bei der Thoremanation beobachtet. Die erregte Radioaktivität verschwindet gewöhnlich bald wieder; rührt sie von der Emanation des Radiums her, sogar ziemlich schnell, stammt sie dagegen von der des Thors, so bleibt sie länger bestehen. Die vom Thor erregte Aktivität wurde der Ausgangspunkt der Theorie und soll daher im folgenden kurz charakterisiert werden. Dank ihrer größeren Beständigkeit zerinnt sie nicht schon, wie die vom Radium erzeugte, noch während der Untersuchung und ist der physikalischen und chemischen Erforschung leichter zugänglich.

Gegenstände, die mit Thorpräparaten in den gleichen Raum zusammengebracht werden, nehmen die erregte Aktivität an. Besonders leicht geschieht dies, wenn sie negativ

[1] Neuere Versuche Ramsays wären allerdings gegen diese Anschauung. Ramsay spricht aus, daß jedes der Elemente Silicium, Titan, Zirkonium, Thorium und Blei bei der Einwirkung von Radiumemanation das Element Kohlenstoff abspalte. Hiernach wäre auch bei altbekannten Elementen die Transmutation, welche die Alchemisten vergebens erstrebten, kein eitler Wahn mehr. Die Wissenschaft kann sich nur schwer entschließen, an diese Umwandlung zu glauben, und sieht erwartungsvoll Nachprüfungen und Bestätigungen entgegen.

elektrisch sind; so kann ein negativ elektrisierter Platindraht tausendmal stärker aktiv werden wie das ihn erregende Thorpräparat. Ein solcher Draht ist vorzüglich geeignet, um die stoffliche Natur seiner Aktivität darzulegen. Säuren lösen den aktiven Überzug des Drahtes herunter und hinterlassen beim Verdampfen in einer Schale einen unsichtbaren Rückstand, der die gesamte Aktivität enthält. Daß es sich um spezifische chemische Reaktionen handelt, ergibt sich daraus, daß die Säuren sich nicht gleich verhalten; während Salzsäure leicht löst, wirkt Salpetersäure kaum. Waschen mit Wasser entfernt den aktiven Überzug nicht, ebensowenig Behandeln mit Alkohol oder Äther. Die Lösungen in Säuren setzen beim Durchleiten eines elektrischen Stromes die Aktivität an der Kathode ab, wie wenn sie ein Metall wäre. Taucht man in die Lösung unedle Metalle, etwa Zink, so überziehen sich diese rasch mit der aktiven Substanz; edle Metalle wie Platin oder Silber dagegen sind wirkungslos. Alles das sind Eigenschaften, wie wir sie von Metallen kennen. Der wirksame Stoff selbst ist in so winzigen Mengen vorhanden, daß er unsichtbar bleibt, und wäre er nicht durch Aktivität ausgezeichnet, so entzöge sich uns seine Existenz vollständig.

Die vom Radium erregte Radioaktivität zeigt manche Ähnlichkeiten mit der vom Thorium induzierten, verhält sich jedoch sehr kompliziert. Die Eigenschaften der von einem Gegenstand angenommenen Aktivität richten sich wesentlich nach der Zeitdauer, während welcher er der Einwirkung der Radiumemanation ausgesetzt war. Ist er nur kurze Zeit, etwa eine Minute, in Berührung mit der Emanation, so nimmt die erworbene Aktivität in der ersten Viertelstunde bis auf einen kleinen Wert rasch ab, der sich etwa eine halbe

Stunde lang wenig ändert und dann schließlich langsam verschwindet. Ist der Einwirkung der Emanation eine längere Frist gegeben, so verschieben sich die Verhältnisse; der Abfall der erregten Aktivität vollzieht sich wiederum am Anfang sehr rasch, dann verzögert er sich aber, und zwar so, daß die Halbierungskonstante etwa eine halbe Stunde beträgt. Wird die Frist sehr lange, etwa monatelang, gewählt, so verschwindet der letzte Rest der Aktivität nicht mehr, d. h. er klingt in Zeiträumen ab, die sich auf viele Jahre hinaus erstrecken.

Die vom Radium erregte Aktivität sendet zunächst nur α-Strahlen aus; bald treten jedoch auch β- und γ-Strahlen hinzu, deren Intensität allmählich anwächst, ein Maximum erreicht und dann wieder abfällt. Ist der Gegenstand lange Zeit der Emanation ausgesetzt, so stellen sich die β- und γ-Strahlen schon währenddem ein, und man kann dann nachher natürlich nur noch deren Sinken beobachten. Auf jeden Fall ergibt sich, daß, wenn man die erregte Aktivität das einemal an Hand der α-Strahlen, das anderemal an Hand der β- und γ-Strahlen verfolgt, sich die Erscheinung in ganz verschiedenen Bildern darbietet. Rutherford hat den sehr komplizierten Verlauf des Abklingens und Wiederansteigens der erregten Aktivität eingehenden experimentellen und mathematischen Betrachtungen unterzogen und ist zu der sich ausgezeichnet bewährenden Ansicht gelangt, daß diese Aktivität nicht nur von einem, sondern von mehreren Stoffen herrührt, die sich folgeweise ineinander umwandeln. Einige von ihnen liefern nur α-Strahlen, einige β- und γ-Strahlen, einige sogar überhaupt keine Strahlen. Die verschiedenen Stoffe besitzen physikalische und chemische Eigenschaften und können, gestützt auf diesen Umstand, obgleich stets nur in unsichtbaren

Mengen vorhanden, einzeln charakterisiert werden. Sie werden der Reihe nach, wie sie in der Umwandlung einander folgen, als Radium A, Radium B usw. bezeichnet.

Die Erscheinung der erregten Radioaktivität lenkt das Augenmerk wieder zum Radium zurück. Jedes feste Radiumpräparat speichert Emanation in sich auf. Diese wandelt sich in erregte Aktivität um, welche im Präparat sich niederschlagen und in ihm haften wird. Die Aktivität eines älteren Präparates setzt sich demnach aus drei Teilen zusammen: aus derjenigen des Radiums selbst, aus derjenigen der aufgestapelten Emanation und schließlich aus der durch eigene Ansteckung entstehenden. Betrachtet man die Radiumsalze unter solchen Gesichtspunkten, so findet man, daß eine Reihe von Eigenschaften, die gewöhnlich kurzerhand dem Radium zugeschrieben werden, gar nicht diesem Element, sondern den von ihm gebildeten und in ihm angesammelten Stoffen zukommen. Man kann sich hiervon überzeugen, wenn man das Radiumsalz in Wasser löst. Hierbei entweicht die Emanation, während Radiumsalz und erregte Aktivität zurückbleiben. Letztere verschwindet im Laufe von einigen Stunden, da ja die Emanation, aus welcher sie nachgebildet werden könnte, abgetrennt ist. Nach dieser Zeit rührt dann die Aktivität nur noch vom Radium selbst her. Dampft man die Lösung rasch zur Trockene ein, so gewinnt man ein Präparat, dessen Aktivität auf nicht weniger als den vierten Teil gesunken ist. Dieses reine Radiumsalz sendet nur α-Strahlen aus. Beim Aufbewahren regeneriert sich die Emanation und die erregte Aktivität. Die Gesamtaktivität steigt allmählich an und kehrt nach einem Monat nahezu auf die ursprüngliche Stärke zurück, wobei zugleich nach und nach die β- und γ-Strahlung wieder zum Vorschein kommt.

Frisch hergestellte, aus Pechblende abgeschiedene Radiumpräparate erstarken erst nach etwa einem Monat zu ihrer vollen Kraft, und dieses erscheint auf Grund der eben geschilderten Vorgänge ohne weiteres verständlich. Mißt man die Aktivität durch die α-Strahlen, so kann man bei älteren Präparaten annehmen, daß 25 % auf das Radium, etwa 40 % auf die aufgespeicherte Emanation und nahezu 35 % auf die erregte Radioaktivität entfallen. Die β- und γ-Strahlen verdanken ihren Ursprung nur der letzteren.

Die Erkenntnis, daß aus dem Radium sich ununterbrochen neue Stoffe erzeugen, fordert, auch dieses Element zu den vergänglichen zu rechnen. Da Gewichtsabnahmen, welche auf ein Verschwinden desselben hindeuten, sich noch nicht feststellen ließen, so ist es offenbar sehr langlebig. Die Lebensdauer kann auf rechnerischem Wege ermittelt werden, indem man entweder die Menge erzeugter Emanation oder die Zahl abgeschleuderter α-Teilchen als Unterlage nimmt. Rutherford und Geiger geben 1760 Jahre als wahrscheinlichsten Wert an.

Einen Überblick über den Zerfall des Radiums, wie er gegenwärtig meistens angenommen wird, bietet die Zusammenstellung auf S. 60. Doch sei bemerkt, daß nach neueren Untersuchungen verschiedene Abänderungen in Aussicht stehen.

Die beständigeren dieser Zerfallprodukte vermögen sich zu größeren Beträgen anzusammeln. Die Gelegenheit zu solchen Aufstapelungen ist in allererster Linie in den radiumhaltigen Mineralien geboten, in welchen die radioaktiven Vorgänge sich seit Jahrmillionen abspielen. In der Tat ergibt sich, daß verschiedene der in der Pechblende aufgefundenen Elemente nichts anderes sind als Zerfallprodukte des

Radioaktive Substanz	Lebensdauer	Halbierungskonstante	Ausgesandte Strahlenart	Reichweite der α-Strahlen
Radium	1760 Jahre	1230 Jahre	α	3,5 cm
↓				
Emanation	5,41 Tage	3,75 Tage	α	4,23 cm
↓				
Radium A	4,3 Minuten	3 Minuten	α	4,83 cm
↓				
Radium B	37,5 Minuten	26 Minuten	β (langsame)	—
↓				
Radium C	27,4 Minuten	19 Minuten	α, β, γ	7,06 cm
↓				
Radium D	57,7 Jahre?	40 Jahre?	keine	—
↓				
Radium E_1	8,7 Tage	6 Tage	keine	—
↓				
Radium E_2	6,9 Tage	4,8 Tage	β	—
↓				
Radium F	200 Tage	140 Tage	α	3,86 cm
↓				
Blei?				

Radiums. Das Polonium der Frau Curie und ebenso das sich ihm gleich verhaltende Radiotellur Marckwalds sind identisch mit Radium F. Das Radioblei K. A. Hofmanns, ein dem Blei ähnlicher radioaktiver Stoff, erweist sich als Radium D, das sich bald durch weitere Zerfallprodukte verunreinigt. Auch der Gehalt der Pechblende an Helium ist leicht begreiflich.

Von ganz besonderem Interesse ist das Endglied der Zerfallreihe. Geht der Zerfall immer weiter, oder hört er schließlich mit einem nicht radioaktiven, vielleicht gar schon wohlbekannten Element auf? Jede Abschleuderung eines α-Teilchens erniedrigt das Atomgewicht um das Gewicht eines Heliumatoms, also um vier Einheiten. Das Produkt, das aus dem Radium F entsteht, hat, bis es den Weg vom Radium her durchläuft, fünf solcher Abschleuderungen durchgemacht und somit insgesamt eine Abnahme von 20 Einheiten erlitten. Das Atomgewicht des Radiums sinkt dadurch auf 206,4, d. h. ungefähr auf dasjenige des Bleis[1]. Noch ist man weit entfernt davon, das Blei als Schlußglied des Zerfalls experimentell bewiesen zu haben; immerhin sind im Bleigehalte der Uranerze Beziehungen zutage getreten, welche der Auffassung nicht ungünstig sind. Hierdurch angeregt, hat man auf die Radioaktivität des gewöhnlichen, nicht aus Uranerzen stammenden Handelsbleies besonders geachtet. Tatsächlich erweist sich dasselbe fast immer radioaktiv. Elster und Geitel konnten dartun, daß die beobachtete Strahlung nicht dem reinen Blei zukommt, dagegen von einer Verunreinigung durch Radium D, E und F herrührt.

Die kühne Hypothese von dem Zerfall der Atome, dieses geistige und experimentelle Werk Rutherfords, ist ein vorzüglicher Führer in dem Labyrinth der radioaktiven Erscheinungen. Die wissenschaftliche Welt zollte dem genialen

[1] Das Atomgewicht des Bleis wird gegenwärtig zu 207,1 angenommen. Benützt man für das Helium anstatt der abgerundeten Zahl 4 den Wert 3,96, so berechnet sich das Atomgewicht des Radiums zu 207,1 + 19,8 oder 226,9, während 226,4 experimentell gefunden wurde. Ob die kleine Differenz von 0,5 auf die Schwierigkeit, Atomgewichte genau zu bestimmen, zurückzuführen ist, oder ob andere Erklärungen hereinspielen können, soll nicht näher erörtert werden.

Gelehrten ihren Tribut durch Verleihung des Nobelpreises im Jahre 1908. Zweifellos bedeutet es für die Wissenschaft einen schweren Entschluß, den hergebrachten Begriff der chemischen Atome zu erweitern und in ihnen nicht mehr die letzten, unteilbaren Stoffmengen zu sehen. So hat es denn auch keineswegs an Versuchen gefehlt, die Radioaktivität in ganz anderer Weise, die sich der herkömmlichen Anschauung anpaßt, zu erklären. Man sprach die Meinung aus, daß auf unserer Erde eine uns Menschen noch unbekannte Strahlung dahinflute, welche von der radioaktiven Substanz absorbiert würde und als Radioaktivität wieder zum Vorschein käme. Der triftigste Grund, der gegen diese rein physikalische Auffassung ankämpft, besteht darin, daß alle radioaktiven Erscheinungen ausnahmslos von stofflichen Umwandlungen begleitet sind, daß also jede Erklärung, welche die chemische Seite des Problems nicht beachtet, unzulänglich ist. Die Palme des Sieges neigt sich mit jeder weiteren Vertiefung in das Problem unzweifelhaft der Zerfallhypothese zu. Die Ursache der Strahlung liegt hiernach in den Atomen selbst und wird ihnen nicht von außen her zugetragen. So verstehen wir am besten, warum uns irgendwelcher Einfluß auf das Zersplittern versagt ist. Und so eröffnet die Radioaktivität der Chemie ein neues Feld der Betätigung. Es beginnt das Zeitalter der Erforschung des Baues und der Konstitution der Atome.

5. Das Uran und seine Beziehung zum Radium.

Das Radium ist ein Element von langer Lebensdauer. Seine Atome neigen nur wenig zum Zerfall; trotz alledem sind sie dem sicheren Untergang geweiht, und im Laufe der

Jahrtausende müßte jede Spur des Elementes längst völlig ausgetilgt sein. Die unumstößliche Tatsache, daß wir Radium immer noch auf unserer Erde finden, beweist und führt zur Ansicht, daß der Verlust stets gedeckt wird, daß frische Mengen des Elementes stets aufs neue auf unserem Planeten geboren werden. Wo ist aber der Ursprung des Radiums zu suchen? Wie und aus was bildet es sich?

Das Auftreten des Radiums ist an das Vorkommen der Uranerze gebunden. Wo Uran, da auch Radium, und so wird der Gedanke wachgerufen, daß beide Elemente nicht zufällig durch eine solche Gemeinschaft aneinandergekettet seien, daß vielmehr hierin eine gesetzmäßige Ursache walte. Ebenso wie das Radiumatom weiter zersplittert, könnte es nicht auch seinerseits durch Zerfall aus schwereren Atomen entstanden sein? Von Elementen mit schwereren Atomen ist uns aber nur das Uran und das Thor bekannt, und nur diese könnten demnach als Mutterelemente des Radiums in Betracht kommen. Das Thor ist jedoch sofort auszuscheiden, denn das Radium knüpft sein Vorkommen in einem Erz wohl an das von Uran, hingegen ganz und gar nicht an das von Thor. Das Interesse konzentriert sich somit von neuem auf das Uran, das zwar den Pfad zur Auffindung der radioaktiven Erscheinungen wies, aber nach der Entdeckung des millionenmal stärker aktiven Radiums bescheiden zurücktreten mußte.

Aus Untersuchungen, die einerseits von William Crookes, andererseits von Henri Becquerel durchgeführt wurden, schien hervorzugehen, daß man die Uranverbindung auf chemischem Wege der Aktivität völlig berauben kann. Wird zu der wässerigen Lösung eines Uransalzes eine Lösung von Ammoniumkarbonat geschüttet, so entsteht ein Niederschlag, der sich auf eine weitere reichlichere Zugabe des Karbonats

bis auf einige minimale Flöckchen wieder löst. Die Flüssigkeit, die man durch Filtrieren klärt, enthält das Uran, das nun aber dank der Behandlung die photographische Wirksamkeit eingebüßt hat. Das photographisch wirksame Prinzip ist jedoch keineswegs verschwunden; es ist zwar vom Uran gewichen, sammelt sich aber dafür in den auf dem Filter liegengebliebenen Flöckchen an, welche indessen nur aus einigen Verunreinigungen des Uransalzes bestehen und den aktiven Stoff höchstens in unsichtbar geringen Mengen enthalten können. Crookes nennt dieses geheimnisvolle aktive Prinzip Uran-X.

Noch andere Verfahren gestatten die Abtrennung des Uran-X. Es ist eine dem Chemiker geläufige Erfahrung, daß beim Versetzen der wässerigen Lösung eines Bariumsalzes mit Schwefelsäure ein unlöslicher Niederschlag von Bariumsulfat ausfällt. Erzeugt man den Niederschlag in Gegenwart eines Uransalzes, d. h. gibt man zu einer Uranlösung eine Bariumlösung und fällt aus dieser Mischung das Sulfat, so hat letzteres die Fähigkeit zur photographischen Wirkung erlangt, hat also, obgleich man ihm nichts ansieht, das Uran-X aufgenommen. Das Uransalz selbst bleibt in der Lösung und wird chemisch von dem Fällungsprozeß nicht betroffen; trotzdem vermindert sich seine photographische Aktivität und durch wiederholtes Niederschlagen von Bariumsulfat vermag man sie fast vollständig zu beseitigen. Alle diese Befunde erwecken den Eindruck, als ob das Uran-X lediglich eine abtrennbare aktive Verunreinigung sei, die vielleicht sogar nur zufällig die Uransalze begleite. Die Verhältnisse liegen jedoch ganz anders; denn prüft man die das Uran-X enthaltenden Substanzen nach Ablauf mehrerer Monate aufs neue, so bietet sich die merkwürdige Tatsache dar, daß sie ihrer Aktivität völlig ver-

lustig gegangen sind. Weder die oben beschriebenen Flöckchen, noch das aus der Uranlösung gefällte Bariumsulfat sind nach dieser Zeit im Besitze der früheren Aktivität. Dagegen haben die Uransalze unterdessen die volle aktive Kraft zurückgewonnen und sich wieder erholt. Dem Uran wohnt also die Fähigkeit inne, das aktive Uran-X zu regenerieren.

Ist hiernach die Tatsache, daß das Uran ununterbrochen eine aktive Substanz produziert, als unzweifelhaft sicher nachgewiesen, so kann trotzdem von einer Inaktivierung dieses Elementes, wie sie die photographische Untersuchung vortäuschte, keine Rede sein. Die elektrische Methode gibt die Aktivität in voller Deutlichkeit zu erkennen. Die tatsächlichen Verhältnisse, deren Aufklärung man vor allem Soddy und Rutherford verdankt, sind vielmehr so beschaffen, daß die gewöhnlichen, chemisch reinen Handelspräparate von Uransalzen alle drei Arten von Strahlen aussenden, von welchen indessen nur die β- und γ-Strahlen sich photographisch hervortun. Das Uran-X liefert nur diese letzteren Strahlen, das Uran selbst dagegen nur α-Strahlen, welche bei der photographischen Prüfung leicht entgehen und welche es sich auf keine Weise rauben läßt. Die genaue Verfolgung an Hand der β-Strahlen offenbart, daß die Radioaktivität eines vom Uran-X auf chemischem Wege befreiten Urans sich in 22 Tagen erholt und zwar im gleichen Tempo, als die β-Strahlung des Uran-X verschwindet.

Was wird aus dem Uran-X? Das ist sicherlich der springende Punkt, um welchen es sich bei der Frage nach der Entstehung des Radiums handelt. Diese Substanz geht nicht unmittelbar in Radium über, sonst müßten, wie man berechnen kann, aus einem Kilogramm Uran schon innerhalb eines Jahres Mengen von Radium entstehen, die man mit

Hilfe der charakteristischen Eigenschaften der Emanation ohne Schwierigkeiten nachweisen kann. Es sind also zwischen Uran und Radium mehrere Zwischenglieder vorhanden. Ob man sie alle wird fassen und darstellen können, ist fraglich; wenn überhaupt diese Möglichkeit besteht, so bieten hierzu die Uranerze, in welchen sie zugegen sein müßten, am besten die Hand.

Bevor man jedoch an die Durchsuchung der Uranerze herangeht, empfiehlt es sich, über das radioaktive Gleichgewicht, das in ihnen herrscht, sich Klarheit zu verschaffen. Jedes der darin enthaltenen radioaktiven Elemente unterliegt dem Zerfall, ohne daß indessen seine Menge abnimmt, da von jedem auch das Mutterelement vorhanden ist und der Verlust durch nachgebildete Substanz fortdauernd gedeckt wird. Nur das Ausgangselement, das an dem Kopfe der Zerfallreihe steht, macht eine Ausnahme; seine Menge nimmt ab, ohne einen Ersatz zu finden. Dieses Element gibt, solange das Gleichgewicht besteht, das Tempo des Zerfalls an; in der Zeit, in welcher von ihm ein Atom zersplittert, zerfällt je ein Atom von allen Elementen der ganzen Reihe. Die mathematischen Formeln lehren, daß diese Auffassung nur dann gültig ist, wenn das Ausgangselement äußerst langsam zerfällt, eine Bedingung, die für das Uran, dessen mittlere Lebensdauer auf Milliarden von Jahren geschätzt wird, sicher erfüllt ist. Die Mengen der radioaktiven Elemente stehen dann im Erz in ganz bestimmten, unveränderlichen Verhältnissen zueinander. Mit anderen Worten: Bildet sich das Radium aus dem Uran, so müssen in den Uranerzen die Gehalte an beiden Elementen einander streng proportional sein. Dasselbe muß natürlich für jedes andere Zerfallprodukt, etwa auch für die Radiumemanation, gelten.

Die Prüfung dieser Forderung ist vor allem auf solche Erze zu erstrecken, die früheren geologischen Zeitperioden entstammen und seither keine chemischen Veränderungen durchgemacht haben; denn je älter das Mineral ist, desto sicherer kann man darauf rechnen, daß sich das radioaktive Gleichgewicht eingestellt hat. Die Uranpräparate des Handels sind zur Prüfung völlig untauglich, da sie bei der Gewinnung von den Zerfallprodukten befreit worden sind und vielleicht nun mehrere tausend Jahre erfordern, bis sie sich wieder ins Gleichgewicht setzen. Man hat Pechblenden und andere uranhaltige Mineralien von den verschiedensten Fundorten geprüft, und zwar in der Weise, daß man den Betrag an Emanation ermittelte, der in einer gegebenen Menge Erz insgesamt erzeugt wird. Dieser Betrag erwies sich tatsächlich dem Urangehalt der Erze proportional. Die Proportionalität gilt dann auch für das Radium selbst, und damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit sehr, daß dieses Element ein Zerfallprodukt des Urans ist. Man darf nach den Ergebnissen der Untersuchungen Boltwoods annehmen, daß in den Mineralien auf ein Gramm Uran der millionste Teil von 340 mg Radium kommen, d. h. erst auf eine Tonne Uran kommen 340 mg Radium. Diese Menge des Radiums ist das Maximum, welches sich im Uran vorfinden kann, und entspricht ungefähr auch der Ausbeute bei der Aufarbeitung von Pechblende. Nimmt man in dieser Blende einen Durchschnittsgehalt von 60 % Uran an, so sind nach der Theorie aus einer Tonne derselben höchstens 0,20 g Radium oder 0,35 g Radiumbromid zu gewinnen.

Eine direkte Prüfung der Ansicht, daß das Radium aus dem Uran sich bilde, ist von Soddy unternommen worden. Es gelang ihm der Nachweis, daß sorgfältigst gereinigte Uran-

salze, die frei von Radium sind, nach ungefähr drei Jahren tatsächlich dieses Element, wenn natürlich auch nur in winzigen Mengen, wieder enthalten. Auch die Auffindung des Mutterelements des Radiums ist geglückt. Zuerst vermutete man, dieses Element im Aktinium in Händen zu haben; allmählich stellte sich heraus, daß es nur eine Verunreinigung des Aktiniums bildet, da beide den Reaktionen des Thors folgen. Boltwood (New Haven, Conn.) gewann es aus thorfreien Uranmineralien, nannte es Jonium und beschrieb es näher. Das Jonium sendet α-Strahlen aus, deren Reichweite die kürzeste aller bis jetzt beobachteten ist und nur 2,87 cm mißt. Es produziert andauernd Radium. Seine Lebensdauer beträgt wahrscheinlich mehrere tausend Jahre, und es findet sich daher vermutlich in beträchtlich größeren Mengen in den Uranerzen als das Radium.

Den Übergang des Urans kann man einstweilen durch folgende Zerfallreihe darstellen:

Radioaktive Substanz	Lebensdauer	Halbierungskonstante	Ausgesandte Strahlenart	Reichweite der α-Strahlen
Uran	7 Milliarden Jahre?	5 Milliarden Jahre?	α	3,3 cm
↓				
Uran-X	31,7 Tage	22 Tage	β, γ	—
⋮				
Jonium	?	?	α	2,87 cm
↓				
Radium	1760 Jahre	1230 Jahre	α	3,5 cm

Frisch aus Uranmineralien gewonnene Joniumpräparate liefern außer einer α- auch noch eine kräftige β-Strahlung, welche aber allmählich abklingt, in 22 Tagen auf die Hälfte, und auf einem Gehalt an Uran-X beruht.

Angesichts der großen Ähnlichkeit, welche zwischen den chemischen Eigenschaften des Joniums und des Thors hervortritt, fällt es schwer, Thorpräparate, die aus uranhaltigen Mineralien dargestellt sind, von Jonium zu befreien. So enthält der für die Glühstrumpfindustrie wichtige Monazitsand durchschnittlich etwa 0,3 % Uran und etwa 5 % Thoroxyd und liefert Thorverbindungen, die andauernd Radium erzeugen. Diese Radiumbildung hat nur scheinbar mit dem Thorium zu tun und rührt in Wirklichkeit nicht von diesem, sondern nur von dem Gehalt an Jonium her.

Die Heliumentwicklung aus Uran ist für die Theorie der Radioaktivität von größtem Interesse. Nach den derzeitigen Erfahrungen dürften 1000 t Uran jährlich etwa 2 mg Helium produzieren. Man hat schon vermutet, daß der Heliumgehalt eines Uranerzes mit der darin enthaltenen Bleimenge in Beziehung steht. Das Uran hat das Atomgewicht 238,5; schleudert es 8 Heliumatome ab, so sinkt das Gewicht um rund 32 Einheiten, und das Atomgewicht des Bleies, nämlich 207, kommt annähernd zum Vorschein. Die Mengen von Helium und Blei stehen nun, wie Boltwood konstatierte, in den Uranmineralien tatsächlich im Verhältnis von 32:207, und in dieser Regelmäßigkeit kann man eine Andeutung dafür erblicken, daß Blei das letzte der Zerfallsprodukte ist.

Die Radioaktivität eines Uranminerals setzt sich selbstverständlich nicht nur aus derjenigen des vorhandenen Urans, sondern auch aus der seiner Zerfallprodukte zusammen; sie

verteilt sich nach den Befunden Boltwoods in folgenden Beträgen auf die verschiedenen Bestandteile, wobei die Aktivität des Urans als Einheit genommen ist:

Uran	1,00
Jonium	0,34
Radium	0,45
Radiumemanation	0,62
Radium A	0,54
Radium B	0,04?
Radium C	0,91
Polonium	0,46
Aktiniumprodukte	0,28
Gesamtaktivität	4,64

Die aus dem Uran hervorgehenden Produkte erhöhen also, obgleich nur in winzigen Mengen anwesend, die Aktivität auf das 4,64fache desjenigen Wertes, welcher dem Uran allein zukäme. Diese Steigerung ist nur möglich, weil eben die Zerfallsprodukte so ungeheuer aktiv sind. Das Radium für sich allein ist 1 300 000 mal stärker aktiv als die gleiche Gewichtsmenge Uran; haben sich die Umwandlungsprodukte in ihm angehäuft und hat sich das radioaktive Gleichgewicht ausgebildet, so steigt die Zahl sogar auf 4 200 000.

6. Das Thorium.

Gleich dem Uranium bildet das Thorium den Ursprung zahlreicher neuer radioaktiver Elemente. Obwohl millionenmal schwächer aktiv als das Radium, verdient das Thorium schon darum besonderes Interesse, als an ihm die erste Emanation und ihre stoffliche Natur erkannt und das Grundgesetz, welches

den An- und Abstieg der Aktivität beherrscht, abgeleitet wurde. Die neuartigen Ergebnisse, welche Rutherford in Gemeinschaft mit Soddy an diesem Elemente zutage förderte, waren der Grundstein, auf dem sich die Hypothese des Atomzerfalls aufbaute.

Die Thorpräparate entwickeln eine Emanation, die sich nach mehreren Richtungen hin wesentlich von der des Radiums unterscheidet. Zunächst entsteht sie in außerordentlich viel kleineren Mengen und ferner ist ihr ein beträchtlich kürzeres

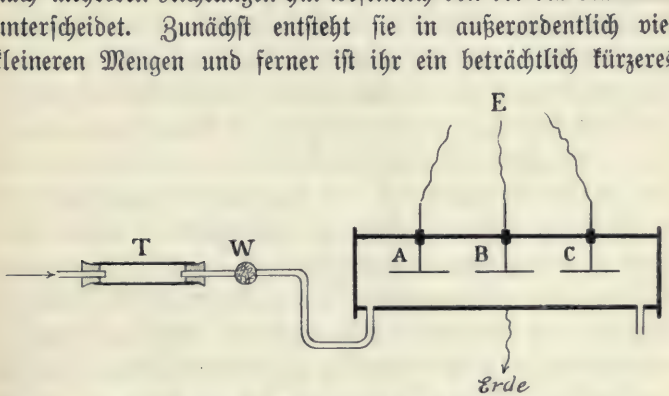


Abb. 9. Nachweis des Abklingens der Thoremanation.

Dasein beschieden. Die Lebensdauer der Thoremanation beträgt nur 54 Sekunden. Das Studium eines derart vergänglichen Stoffes ist natürlich mit erheblichen Schwierigkeiten verknüpft und bedarf besonderer Methoden. Das Abklingen der Emanation läßt sich mit Hilfe des in Abb. 9 skizzierten Apparates ermitteln. Das Thorpräparat liegt in einem Glasrohr T, durch welches ein Luftstrom streicht, der die Emanation aufnimmt und sie einem mit drei Drähten A, B, C versehenen Messingzylinder zuführt. Der Luftstrom passiert zwischenhinein die Kugel W, die zwecks Zurückhaltung mitgewehter Verunreinigungen mit Watte ausgestopft ist. Die drei Drähte

sind im Messingzylinder isoliert befestigt und können jeder für sich mit der elektrischen Meßvorrichtung E in leitende Verbindung gebracht werden. Die Luft im Zylinder ist dank der in ihr vorhandenen Emanation leitfähig. Die Leitfähigkeit ist bei A am größten; bei B fällt sie schon kleiner aus, da auf dem Wege von A nach B schon ein Teil der Emanation verschwunden ist; bei C schließlich ist sie aus demselben Grunde noch niedriger. Sind die Drähte elektrisch geladen und kennt man die Strömungsgeschwindigkeit der durchstreichenden Luft, so kann man aus den am Elektrometer E abgelesenen Leitfähigkeiten die Abklingungsgeschwindigkeit der Emanation berechnen.

In chemischer Hinsicht verhält sich die Thoremanation wie die Radiumemanation als ein reaktionsunfähiges Gas und ist ebenfalls unter die Edelgase einzubeziehen. Durch starke Kälte wird sie gleichfalls kondensiert. Auf Gegenständen schlägt sie eine erregte Radioaktivität nieder, die wesentlich langsamer abnimmt als die von der Radiumemanation erzeugte und von der schon die Rede war[1]. Ist der Gegenstand nur kurz der Thoremanation ausgesetzt, so steigt nachher die erregte Radioaktivität einige Stunden lang von selbst noch weiter an, um später mit der Halbierungszeit von nahezu 11 Stunden abzufallen. Die Rutherfordsche Theorie zeigt, daß das zuerst aus der Emanation entstehende Produkt, nämlich das Thorium A, eine Lebensdauer von etwa 16 Stunden besitzt und ohne Strahlung ist. Daraus bildet sich Thorium B, das nur etwa 30 Minuten lebt und alle drei Strahlenarten aussendet. Später sind diese Ansichten insofern ausgedehnt worden, als man dem Thorium A langsame, leicht absorbierbare β-Strahlen zuschrieb und als weiteren Zerfall ein Thorium C angliederte.

[1] Siehe Seite 55.

Einen wesentlichen Unterschied gegenüber dem Radium offenbart das Thorium dadurch, daß es seine Emanation nicht direkt bildet. Versetzt man die wässerige Lösung eines Thorsalzes mit Ammoniak (Salmiakgeist), so fällt ein das gesamte Thor enthaltender Niederschlag aus, der viel weniger aktiv ist. Die von ihm abfiltrierte Flüssigkeit, in welcher chemisch kein Thor mehr nachweisbar ist, liefert dagegen beim Abdampfen (und Verjagen der Ammoniumsalze) eine minimale Spur hochaktiver Substanz. Nach Verlauf eines Monats büßt diese Substanz die Aktivität wieder ein, das Thor gewinnt gleichzeitg die ihrige zurück. Da also ähnliche Verhältnisse wie beim Uran zutage treten, nennt man die abscheidbare, vergängliche, hochaktive Substanz Thorium-X. Das Thorium-X sinkt in nicht ganz vier Tagen auf die Hälfte; es erzeugt die Thoremanation und gilt daher als Mutterelement dieser.

Aber auch das Thorium-X entsteht nicht direkt aus Thor. O. Hahn gewann aus einem Mineral von Ceylon, dem Thorianit, einige Milligramme einer sehr aktiven Substanz, die andauernd Thoremanation entwickelt, aber merkwürdigerweise über 100 000 mal stärker als Thorium selbst. Sie wird als Radiothorium bezeichnet und ist, da sie Thorium-X erzeugt, als Mutterelement von diesem zu betrachten. Das Radiothorium liefert über das Thorium-X hinweg so reichlich Emanation, daß man deren Gasnatur leicht beobachten kann. Legt man das Präparat in Papier eingewickelt auf einen Sidotblendeschirm, so fällt es einem gut ausgeruhten Auge im Dunkeln nicht schwer, das Hin- und Herwehen der durch die Poren des Papieres kriechenden Emanation am Leuchten zu verfolgen.

Die Thormineralien sind von großer praktischer Bedeutung, da aus ihnen fabrikmäßig das Material für die Glühstrümpfe

bereitet wird. Die daraus hergestellten Thorverbindungen sind jedoch, bezogen auf gleiche Mengen des Elementes, viel weniger aktiv als das Mineral, allein nur deswegen, weil bei der Verarbeitung ein großer Teil der aktiven Substanzen in den Rückständen und Mutterlaugen verbleibt. Verfolgt man die Thorpräparate sehr lange Zeit, so bemerkt man die Eigentümlichkeit, daß die Aktivität in den ersten Jahren nach der Extraktion aus dem Mineral stetig abnimmt, um dann allmählich wieder anzusteigen. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, daß in der Stufe zwischen Thorium und Radiothorium sich noch ein anderes Zerfallprodukt, das Mesothorium, einschiebt. Bei der fabrikmäßigen Aufarbeitung des Minerals wird dieses Mesothorium entfernt, das Radiothorium hingegen nicht. Das letztere verschwindet nach und nach, da es seines Mutterelementes beraubt ist und sich nicht aufs neue nachbilden kann. Daher rührt der Abstieg der Aktivität. Das Mutterelement, das Mesothorium, entsteht im Laufe der Jahre langsam wieder aus dem Thorium, reichert sich an, kann schließlich mehr und mehr Radiothorium erzeugen und bedingt so das Wiederansteigen der Aktivität. Man versteht so, warum die Thorpräparate je nach ihrem Alter, in ganz verschiedenem Grade aktiv sind.

Nebenstehende Tabelle gibt die Zerfallreihe des Thorium an.

Das Thorium selbst zerfällt fast unendlich langsam und ist daher nur schwach aktiv, so daß man schon vermutet hatte, es sende überhaupt keine Strahlen aus. Die verschiedenen Spaltungen sind von der Ausschleuderung von α-Teilchen begleitet, und damit wird der Heliumgehalt der Thormineralien leicht verständlich. Bemerkt sei noch, daß das Mesothorium nicht einheitlich ist und aus zwei Substanzen besteht. Was das

Radioaktive Substanz	Lebensdauer	Halbierungskonstante	Ausgesandte Strahlenart	Reichweite der α-Strahlen
Thorium	größer als 14 Milliarden Jahre	größer als 10 Milliarden Jahre	α	—
↓ Mesothorium	10 Jahre?	7 Jahre?	β	—
↓ Radiothorium	1063 Tage	737 Tage	α	3,9 cm
↓ Thorium-X	5,25 Tage	3,64 Tage	α	5,7 cm
↓ Emanation	78 Sekunden	54 Sekunden	α	5,5 cm
↓ Thorium A	15,3 Stunden	10,6 Stunden	β (langsame)	—
↓ Thorium B	1,44 Stunden	1 Stunde	α	5,0 cm
↓ Thorium C	wenige Sekunden	wenige Sekunden	α, β, γ	8,6 cm
↓ Thorium D				
↓				

Endprodukt des Zerfalls anbelangt, so hat man noch keine Anhaltspunkte; es mag erwähnt werden, daß man schon das Wismut als solches angesprochen hat.

7. Das Aktinium.

Das von A. Debierne in der Pechblende aufgefundene Aktinium stellt ein hochaktives Element dar, dessen Strahlen die Gase ionisieren, auf die photographische Platte wirken und

lebhafte Fluoreszenz der Leuchtschirme hervorrufen. Die ersten Präparate bestanden neben den sehr geringen Elementen des neuen Elementes hauptsächlich aus Thorium. Einige Jahre später gewann Giesel ebenfalls aus der Pechblende eine neue Substanz, die vor allem durch das ganz hervorragende Emanationsvermögen auffiel und die er aus diesem Grunde als Emanium bezeichnete. Die Emanation ist sehr leicht sichtbar zu machen; sie erregt auf dem Sidotblendeschirm ein helles Licht, das sich unter dem leisesten Luftstrom hin- und herbewegt und sich in beliebigen Richtungen auf die Seite blasen läßt. Dieses Emanium hat sich als völlig identisch mit dem Aktinium erwiesen. Die genaueren Untersuchungen lehrten, daß sie beide den Reaktionen der seltenen oder Cererden folgen und sich in ihnen anreichern lassen. Man kann auf diese Weise aktive Cer- und Lanthanpräparate bereiten. Je mehr darin Cer zurück- und Lanthan hervortritt, desto kräftiger ist das Selbstleuchten der Substanz. Diese Präparate senden alle drei Arten von Strahlen aus. Die β-Strahlen des Aktiniums sind unter sich viel gleichartiger als die des Radiums und werden bei der magnetischen Ablenkung nicht auseinandergezerrt. Sie unterscheiden sich von den Radium-β-Strahlen auch dadurch, daß sie etwa dreimal leichter absorbiert werden. Ebenfalls die γ-Strahlen sind weniger durchdringend. Die Aktiniumpräparate kosten gegenwärtig 60 Mark pro Gramm.

Die Aktiniumemanation charakterisiert sich durch eine außerordentlich kurze Lebensdauer, die nur 5 bis 6 Sekunden beträgt. Infolgedessen machen sich die Wirkungen auf die Leuchtschirme nur bis auf einige Zentimeter Entfernung vom Präparat bemerkbar; bis die Emanation durch die Luft hindurch zum Schirme hinübergelangt ist, hat sie schon ihr kurzes Leben aus-

gehaucht. Das Abklingen der Emanation kann man durch Strömungsversuche, wie wir sie beim Thorium kennen lernten und in Abb. 9 andeuteten, ermitteln. Das Aktinium zersetzt wie das Radium Wasser, in dem es aufgelöst ist, und das entweichende Gas enthält Helium, das sich aus der Emanation bildet.

Die Emanation entsteht nicht direkt aus dem Aktinium, sondern über zwei Stufen weg; sie erzeugt eine erregte Radioaktivität, die sich aus mehreren, nacheinander abklingenden Produkten zusammensetzt. Diese Umstände bewirken, daß die frisch hergestellten Aktiniumpräparate weniger aktiv sind als die schon einige Monate älteren.

Radioaktive Substanz	Lebensdauer	Halbierungskonstante	Ausgesandte Strahlenart	Reichweite der α-Strahlen
Aktinium	?	?	keine	—
↓				
Radioaktinium	28 Tage	19,5 Tage	α	4,8 cm
↓				
Aktinium-X	14,7 Tage	10,2 Tage	α	6,55 cm
↓				
Emanation	5,6 Sekunden	3,9 Sekunden	α	5,8 cm
↓				
Aktinium A	50 Minuten	36 Minuten	β langsame	—
↓				
Aktinium B	3,1 Minuten	2,15 Minuten	α	5,5 cm
↓				
Aktinium C	7,3 Minuten	5,10 Minuten	β, γ	—
↓				

Das Aktinium stellt unzweifelhaft ein neues radioaktives Element dar. Es besitzt charakteristische Eigenschaften, und seine hohe Radioaktivität erhält sich dauernd. Es entsteht wohl auch aus dem Uranium, da es sich in dessen Erzen findet und zu ihm stets im selben Verhältnis steht.

Die Zerfallreihe des Aktiniums ist durch vorstehende Tabelle wiedergegeben.

8. Die Verbreitung der Radioaktivität.

Die Erforschung der Radioaktivität hat uns die Erkenntnis von wunderbaren Naturkräften beschert und ein völlig neues und unvermutetes Wissensgebiet erschlossen. Einmal vertraut mit den merkwürdigen Eigentümlichkeiten dieser der Verborgenheit entzogenen Kräfte, fragen wir unverzüglich, ob sich solche ungeahnte Erscheinungen nicht schon in unserer nächsten Nähe abspielen, ob sie nicht ein häufigeres Vorkommen und eine größere Verbreitung auf unserem Erdball genießen. Sind die radioaktiven Stoffe nur an die Uran- und Thormineralien gefesselt, oder finden sie sich auch sonst in dem uns zugänglichen Erdenrund?

Die uns umgebende Atmosphäre lenkt zuerst die Aufmerksamkeit auf sich. Die Luft ist kein vollkommener Isolator der Elektrizität, und jedes Elektroskop verliert die Ladung nach längerem Stehen restlos. Die Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft ist keineswegs an allen Orten dieselbe und schwankt überdies nicht unerheblich mit den Witterungsänderungen. J. Elster und H. Geitel in Wolfenbüttel führten sehr viele solcher Messungen aus und suchten die obwaltenden Verhältnisse aufzuklären. Sie vermuteten schließlich, daß in der Luft Spuren radioaktiver Substanzen vorhanden

seien, und tatsächlich gelang es ihnen, die Anwesenheit einer Emanation untrüglich nachzuweisen. Ihre Versuche wurden von anderen Forschern wiederholt und bestätigt, und heute wissen wir, das das Auftreten von radioaktiver Emanation in der Atmosphäre die Regel bildet. Spannt man einen 20-m langen Draht isoliert im Freien auf, elektrisiert ihn negativ und sehr stark mit Hilfe einer Influenzmaschine, so zeigt er, wenn er nach einigen Stunden entladen und untersucht wird, in aller Deutlichkeit radioaktive Eigenschaften. Es hat sich auf ihm eine erregte Radioaktivität niedergeschlagen, die allmählich abklingt und die unzweifelhaft von stofflicher Natur ist, da sie sich mit einem Lederlappen abwischen und auf diesen übertragen läßt. Das Material, aus welchem der Draht besteht, ob Blei, Eisen oder Kupfer gewählt wird, ist gleichgültig.

Die wechselnde Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft richtet sich nach dem größeren oder kleineren Gehalt an Emanation. Woher bezieht aber die Luft die Emanation? Die Versuche geben die bestimmte Antwort, daß die Erdkrume der freiwillige Spender ist. Die Aktivität in vom Erdreich umschlossenen Räumen, in Kellern und Höhlen, kann diejenige der freien Atmosphäre um vieles übertreffen. In Kellern ausgespannte, negativ elektrisierte Drähte können eine so kräftige Radioaktivität annehmen, daß die zum Abwischen benutzten Lederlappen die Fähigkeit erlangen, auf die photographische Platte zu wirken, ja sogar das Leuchten eines Bariumplatincyanürschirmes zu erwecken. Selbst die Asche des verbrannten Lappens ist noch aktiv. Große Wirksamkeit kommt der Bodenluft zu, einer Luft, die sich aus den Poren des Erd- und Ackerbodens durch Eintreiben eines Rohres heraussaugen läßt. Kein Zweifel herrscht, daß der Boden radioaktive Eigenschaften aufweist und an die Atmosphäre Emanation abgibt.

Die Radioaktivität der verschiedenen Bodenarten ist im allgemeinen eine sehr geringe und mehr als hundertmal kleiner als die von Uransalzen; sie ist aber ausreichend genug, um die Luft mit Emanation zu versorgen. Sie genügt auch, eingegrabenen Gegenständen eine erregte Aktivität zu verleihen. Erheblichere Radioaktivität der Erde zeigt sich in Italien, so etwa bei der gewöhnlichen Ackererde in Capri. Von Interesse ist die auffallende Aktivität des Fango von Battaglia und von Abano, ein in den dortigen Sprudelthermen auftretender feiner Schlamm. Die von der Fangoemanation erregte Aktivität klingt ab wie die von der Radiumemanation hervorgerufenen und gestattet auf einen Gehalt an Radium zu schließen, der aber äußerst gering ist und nur etwa ein Tausendstel von dem der Pechblende beträgt. Bei der Verarbeitung liefert der Fango ein mehr als hundertmal stärker aktives Bariumsalz. Auch die Erde von Capri ist radiumhaltig. Die Radioaktivität scheint mit dem vulkanischen Charakter zusammenzuhängen; die vulkanische Asche von Ischia ist stark aktiv, die Ätnaerde sogar fast doppelt so stark wie diese.

Die Menge der in der Atmosphäre enthaltenen Emanation unterliegt meteorologischen Einflüssen. Winde vermögen aktivere Luft heranzutragen oder eine innigere Bespülung des Bodens herbeizuführen. Der Barometerstand spielt eine wesentliche Rolle; niedriger Luftdruck erleichtert das Herausbringen der Emanation aus dem Boden und erhöht so die aktivierende Wirkung der Atmosphäre. Regen, Schnee, Stand des Grundwassers, Temperatur, alles das sind Faktoren, von welchen die Emanationsfähigkeit der Erde abhängt. Gefrorener Boden erschwert den Austritt der Emanation. Die aktivierende Wirkung hängt zusammen mit dem Gelände. Tritt die feste Erdrinde zurück, wie etwa am Meeresufer, so sinkt die Wir-

kung; sie macht an der Ostseeküste nur ein Drittel von der im Binnenland bei Wolfenbüttel aus. Die Emanation findet sich oft reichlich in hochgelegenen Orten, wie dies für Arosa in der Schweiz nachgewiesen ist, und schon ist der Vermutung Ausdruck gegeben, daß an den Vorteilen des Höhenklimas der größere Gehalt der Luft an radioaktiven Stoffen mitbeteiligt sei.

Die in der Atmosphäre sich ausbreitende Emanation ist vorzugsweise diejenige des Radiums; die des Thoriums und des Aktiniums kommen weniger in Betracht, da sie zu rasch absterben, also hauptsächlich nur in der Nähe des Bodens und in den untersten Luftschichten bestehen können. Thoriumemanation ist neben der des Radiums in New Haven beobachtet und durch das Abklingen eines aktivierten Drahtes erkannt worden; sie findet sich an diesem Ort verhältnismäßig reichlich in der Bodenluft. Die weite Ausbreitung der Radiumemanation wird auch durch die atmosphärischen Niederschläge erwiesen, die mit einer Aktivität behaftet sind, welche wie die vom Radium erregte abklingt. Graupelkörner und Schnee verhalten sich aktiver als Regen. Alle diese Erfahrungen geben uns Kunde davon, daß die radioaktiven Stoffe auf unserer Erde nicht allzuselten sind, und daß sie sich überall verbreiten, nur eben in außerordentlich winzigen Mengen, in Mengen, die noch unvergleichlich geringer sind als die, welchen wir in den Uran- und Thormineralien begegnen.

Eine weitreichende Verbreitung der Radioaktivität wird durch Gewässer veranlaßt. Viele Quellen sind radioaktiv. Sie enthalten mit Emanation geschwängerte Gase, die man durch Kochen oder Schütteln austreiben kann und die ihre Aktivität bei keiner chemischen Behandlung verlieren. Die im Freien fließenden Gewässer geben die Emanation

schnell ab. Je munterer ein Bach über Stock und Stein dahinplätschert, je toller er über das Geröll stürzt und schäumt, desto inniger ist die Berührung mit der umgebenden Luft, und desto rascher entweicht die gelöste Emanation. Schon in kurzen Entfernungen kann dem Wasser die Aktivität gänzlich abhanden gekommen sein. Zieht das Wasser dagegen ruhig und ungestört seinen Lauf dahin, dann bewahrt es die Emanation viel länger, und so konstatiert man häufig, daß Wasserleitungswasser radioaktiv ist. Die Emanationen sind im Petroleum reichlicher löslich als in Wasser, und in der Tat hat man starke Radioaktivität bei natürlichen Erdölen angetroffen.

Die Radioaktivität der Quellen beruht in den meisten Fällen nur auf der Gegenwart von Emanationen; andere radioaktive Stoffe, insbesondere Radium, sind in der Regel nicht nachweisbar, und so ist es verständlich, daß sich ein entemaniertes Wasser nicht mehr erholt. Kochen des Wassers oder Durchperlen von Luft vertreibt die Emanation, und die Aktivität ist unwiederbringlich erloschen. Die Menge der gelösten Emanation wird dadurch ermittelt, daß man das zu prüfende Wasser in einem verschließbaren Gefäß mit Luft kräftig durchschüttelt und das Leitvermögen, welches diese gewinnt, mißt. Dabei ist indessen noch zu berücksichtigen, daß während des Schüttelns und der Messung die Innenwände des Gefäßes sich mit erregter Aktivität beschlagen, daß also der zunächst gefundene Wert zu hoch und noch um die Wirkung der von den Wänden ausgesandten Strahlung zu vermindern ist. Den letzteren Betrag bestimmt man, indem man rasch die Emanation ausbläst, durch reine Luft ersetzt und nochmals das Leitvermögen mißt. Subtrahiert man den zweiten vom ersten Wert, so hat man die alleinige Wirkung der Emanation. Die Art der

anwesenden Emanation ergibt sich, wenn man das Abklingen der auf den Gefäßwänden niedergeschlagenen, erregten Radioaktivität verfolgt. Dank dieser Aktivität nimmt jede in dem Gefäße befindliche Luft Leitfähigkeit an, und man hat nur nötig, diese Leitfähigkeit des öfteren zu messen. War Radiumemanation ursprünglich vorhanden, so klingt die Wirkung der Wände rasch ab, etwa in einer halben Stunde auf die Hälfte, und ist nach einigen Stunden ganz verschwunden. Lag Thoremanation vor, so bleibt das Gefäß sehr lange aktiv, und seine Wirkung sinkt erst in etwa 11 Stunden auf die Hälfte. Auch wenn beide Emanationen nebeneinander anwesend sind, läßt sich dies auf dem beschriebenen Wege erkennen, denn dann nimmt die erregte Radioaktivität anfänglich schnell und nachher langsam ab.

Solche Quellen, die von alters her im Rufe einer besonderen Heilwirkung stehen und zu Bade- und Trinkkuren dienen, sind auffallend häufig durch Radioaktivität, manchmal durch sehr hohe Werte, ausgezeichnet, und mehr und mehr bricht sich die Ansicht Bahn, daß es nicht zum allerwenigsten die Emanationen seien, die den wohltätigen Einfluß auf den menschlichen Körper ausüben. Die alte Sage vom Brunnengeist, der in den künstlichen, noch so sorgfältig bereiteten Mineralwassern keine Wohnstätte hat und der seine Wunderkraft dem Heilungsuchenden nur an Ort und Stelle teilhaftig werden läßt, lebt aufs neue und auf wissenschaftlicher Grundlage in den radioaktiven Emanationen auf. Es muß doch gewiß mehr als ein Spiel des blinden Zufalls walten, wenn hochberühmte Quellen, wie etwa das Gasteiner Wasser, das so gut wie chemisch rein ist und darum eigentlich keine spezifischen Wirkungen ausüben sollte, wenn solche Quellen durch einen geradezu auffallend hohen Emanationsgehalt glänzen.

Auch die Gase, die gemeinsam mit der Quelle aussprudeln und sich darüber lagern, sind oft sehr stark aktiv.

Die Emanation wird bei den Trinkkuren mit dem Wasser in den Körper eingeführt, verteilt sich im ganzen Organismus und ist nachher im Harn und in der Ausatmung nachweisbar. Bei den Badekuren wird sie allein auf dem Wege des Atmens aufgenommen und nicht durch die Haut, und darum ist es von wesentlicher Bedeutung, daß sich in der Luft der Baderäume erhebliche Mengen von Emanation finden. Während Gesunde den Aufenthalt in emanationshaltiger Luft unbeschadet vertragen, stellen sich bei Kranken, hauptsächlich bei solchen mit chronischem Gelenkrheumatismus, Reaktionen wie bei der Bäderkrankheit ein, d. h. anfängliche Verschlimmerungen, die sich in vermehrten Schmerzen, Anschwellungen und unter Umständen in Entzündungen äußern[1].

Die Prüfung der Heilquellen auf Radioaktivität ist daher von großer Wichtigkeit, und eine Reihe von Forschern hat sich in den letzten Jahren mit dieser aussichtsvollen und dankenswerten Aufgabe befaßt. Ein sehr handlicher, leicht transportabler Apparat, das Fontaktoskop, ist von Engler und Sieveking in Karlsruhe konstruiert worden. Das Fontaktoskop setzt sich, wie aus Abb. 10 hervorgeht, im wesentlichen aus zwei Teilen zusammen: der Blechkanne K und dem Elektroskop E. Letzteres trägt in metallischer Verbindung den Zerstreuungszylinder Z, der isoliert in die Kanne hereinhängt. Befindet sich in der Kanne emanationshaltige Luft, und wird das Elektroskop und mit ihm der Zerstreuungs-

[1] Nach Veröffentlichungen von Dr. Löwenthal (Braunschweig) und Dr. Laqueur (Ems).

körper elektrisiert, so verliert der Zylinder seine Ladung. Die Blättchen des Elektroskops sinken herunter und gestatten, den in einer bestimmten Zeit erfolgenden Abfall der Spannung abzulesen, aus welchem dann die Leitfähigkeit der emanationshaltigen Luft berechnet werden kann. Zwecks Einbringen der Emanation in die Kanne entfernt man das Elektroskop, füllt eine bestimmte Menge des zu untersuchenden Wassers ein, verschließt die obere Öffnung und schüttelt kräftig durcheinander. Die Emanation teilt sich dabei fast augenblicklich der in der Kanne befindlichen Luft mit und ist zur Messung bereit[1].

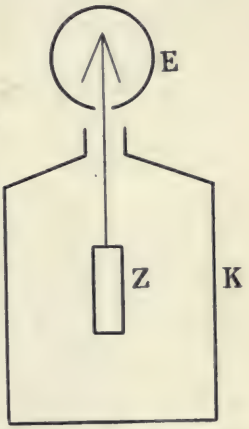


Abb. 10. Die wesentlichen Teile des Kontaktoskops.

Die Geschwindigkeit des Spannungsabfalls hängt außer von dem Gehalt an Emanation wesentlich noch von der Form und der Größe des Apparates ab. Um von diesen den Vergleich störenden Einflüssen befreit zu sein, rechnet man nach dem Vorschlage des Wiener Physikers H. Mache die Stärke desjenigen elektrischen Stromes aus, der durch ein bestimmtes, durch ein Liter Wasser aktiviertes Luftquantum bei der Entladung hindurchgeht. Man gibt die Stromstärke in elektrostatischen Maßeinheiten an und multipliziert, weil die Zahlen sonst zu klein ausfallen, mit 1000. Die so gewonnenen Werte drücken den Emanationsgehalt des Wassers in Mache-

[1] Bei der Ausrechnung sind noch verschiedene Nebenumstände zu beachten.

Einheiten aus, und ihr Vorteil beruht gerade darauf, daß sie unabhängig von dem verwendeten Apparat und daher stets miteinander vergleichbar sind.

Die Prüfungen erstrecken sich bereits über eine stattliche Anzahl von Quellen und haben schon verschiedene allgemeine Gesichtspunkte zutage gefördert. In der Regel sind die Thermen stärker radioaktiv als die kalten Quellen, obgleich man auch unter den letzteren recht kräftige kennt. Die Quellen eines und desselben Gebietes, selbst wenn sie sich physikalisch und chemisch nahestehen, zeigen oft sehr große Unterschiede der Radioaktivität. Die Thermen Gasteins schwanken zwischen 149 und 21, die heißen Wasser Baden-Badens zwischen 24 und 3 Mache-Einheiten. Sogar die gleiche Quelle ist Wechseln unterworfen; die Büttquelle Baden-Badens bewegt sich zwischen 126 und 82 Mache-Einheiten. Die radioaktive Stärke einer Quelle ist hiernach keineswegs eine ein für allemal festgelegte Zahl. Eine befriedigende Ergründung der Ursache solcher Wechsel ist noch nicht gelungen; immerhin ist es wahrscheinlich, daß Beimischungen von Tagwassern und atmosphärischen Niederschlägen nicht unbeteiligt sind. Lokale Beschaffenheit und Durchlässigkeit des Gesteins sind unzweifelhaft wichtige Faktoren. Im Winter, bei gefrorenem Boden, sind die Quellen häufig stärker aktiv, um bei Tauwetter wieder etwas nachzulassen.

Die stärkste Aktivität mit 372,2 Mache-Einheiten besitzt bis jetzt, wie C. Engler fand, eine altrömische Therme auf der Insel Ischia. Sehr hohe Werte liefern die Quellen von Gastein, so die Grabenbäckerquelle mit 149 Mache-Einheiten. Folgende Tabelle bringt eine Zusammenstellung der von verschiedenen Forschern an einigen Bade- und Trinkwassern ermittelten Zahlen.

	Mache-Einheiten	Temperatur i. Celsiusgraden
Baden-Baden, Büttquelle	125,0	23,5
„ Murquelle	24,0	59,0
„ Friedrichsquelle	6,7	67,8
„ Ursprungsquelle	6,0	62,0
„ Klosterquelle	5,8	62,2
Kreuznach, Inselquelle	20,4	12,6
„ Oranienquelle	17,4	10,0
„ Neue Bäderquelle	15,2	12,3
„ Hauptbäderquelle	11,8	19,0
„ Viktoriaquelle	5,5	10,4
Wiesbaden, Quelle von Dr. Kurz	11,9	31,0
„ Schützenhofquelle	7,8	50,0
„ Kochbrunnen	1,2	68,0
Soden im Taunus, Champagnerbrunnen . .	21,9	11,3
„ „ „ Schwefelbrunnen . . .	16,4	13,8
Homburg v. d. H., Elisabethenbrunnen . . .	8,0	10,6
Nauheim, Karlsbrunnen	28,6	15,0
Wildbad i. Schwarzwald, Bohrloch Nr. 16 . .	3,3	36,0
Mergentheim, Karlsquelle	7,1	9,8
Göppingen, Sauerbrunnen	7,6	9,2
Gastein, Österreich, Grabenbäckerquelle . . .	149,0	36,3
„ „ Elisabethstollen, Hauptquelle	122,4	46,8
„ „ Chorinskyquelle, „	121,9	41,9
Karlsbad, „ Eisenquelle	47,5	8,4
„ „ Schloßbrunnen	8,8	30,2
Disentis, Schweiz, St. Placidusquelle . . .	11,4	kalt
Lavey les Bains, Schweiz	11,0	45
Ischia, Italien, altrömische Quelle, kleines Sammelbassin	372,2	57
„ „ Porto d'Ischia, Stabilimento communale	4,7	65
Battaglia bei Padua, Italien, Surgone Grotta	5,7	74
Abano bei Padua, Italien, Sorgente Montirone centrale	5,0	87
Stockholm, Schweden, in Granit erbohrte Brunnen	22,7	kalt

Besonderes Interesse beansprucht der in den Quellen sich absetzende Schlamm und Sinter. Diese Absätze sind oft stark radioaktiv, viel mehr als die meisten Erdarten, und enthalten Radium und Radiothorium. Bekannt geworden ist dies vor allem bei den Thermalquellen von Echaillon und von Salins-Moutiers in Savoyen, ferner bei den Quellen von Nauheim, Kreuznach, Baden-Baden und Wiesbaden. Häufig überwiegt das Radium, wie etwa in der Freibadquelle in Baden-Baden, manchmal das Radiothorium, wie z. B. in der Klosterquelle desselben Ortes. Die Mutterelemente, nämlich Uran und Thor, sind in den Quellenabsätzen nicht vorhanden.

In Quellen, welche einen aktiven Sinter absetzen, lassen sich oft neben der Emanation noch andere radioaktive Stoffe nachweisen; das Wasser derselben erholt sich dann nach dem Entemanieren wieder bis zu einem gewissen Grade. Die Quellabsätze haben schon praktische Verwendung gefunden. In Kreuznach werden sie auf Radiumpräparate verarbeitet, mit deren Hilfe in sog. Aktivatoren destilliertes Wasser mit Emanation geschwängert wird. Solche Emanationswasser dienen zu Trink- und Badekuren.

Woher die Radioaktivität der Quellen stammt, ist im allgemeinen keineswegs klar. Viele stark radioaktive Thermen entspringen aus vulkanischem Gestein und verdanken möglicherweise diesem den Gehalt an Emanation oder anderen radioaktiven Stoffen. Vielleicht steigen auch im Inneren der Gebirge Emanationen auf, die sich in den durchfließenden Wassern auflösen. Daß in Gegenden, in welchen uranführendes Gestein ansteht, die Quellen stark aktiv sind, ist leicht verständlich. In St. Joachimstal werden sie gefaßt und zu Badezwecken benützt. In dem dort befindlichen Uranbergwerk ist nicht nur das Grubenwasser stark aktiv, sondern auch die

Luft, und zwar so kräftig, daß man das Scintillieren eines Sidotblendeschirmes beobachten kann. Durch Einlegen von Uranerzen in Wasser kann man die Radioaktivität desselben künstlich steigern; so verstärkte sich das Trinkwasser, das aus dem Gnade-Gottes-Stollen im Revier von Johanngeorgenstadt kommt, von 2,51 auf 17,39 Mache-Einheiten, als man darin 50 kg Uranerz versenkte.

9. Folgerungen.

Die neuartigen Tatsachen, von welchen uns die Radioaktivität Zeugnis ablegt, bilden den Schlüssel zum Eindringen in weitere Probleme. Sie offenbaren, daß im Schoß unserer Erde geheimnisvolle Wandlungen sich vollziehen, daß der Gehalt an verschiedenen chemischen Grundstoffen sich verschiebt und keineswegs seit dem Bestehen unseres Planeten unverändert geblieben sein kann. Einige Elemente sind vielleicht schon ganz ausgestorben, andere wieder, wie das Uran, sind auf dem Wege dazu. Die Zeiträume, um die es sich dabei handelt, überschreiten unser Fassungsvermögen und sind nur in ungeheuren Zahlen auszudrücken, neben welchen die Dauer des Menschenlebens als ein kurzer Augenblick erscheint. Für einen Zeitabschnitt von rund fünf Milliarden Jahre, in welchem der Urangehalt der Erde erst auf die Hälfte sinkt, geht uns jegliches Verständnis ab. Um so großartiger ist daher der Gedanke, daß die Uranmineralien Maßstäbe zum Abschätzen geologischer Zeitperioden bieten können. Unterziehen sich diese Mineralien seit ihrem Dasein ununterbrochen den radioaktiven Vorgängen, so stapeln sich die letzten Zerfallprodukte in ihnen auf. Der Gehalt an Helium und wahrscheinlich auch der an Blei sind die Skala des Alters, und

schätzungsweise läßt sich berechnen, daß seit der Entstehung der verschiedenen Uranmineralien 400—2200 Millionen Jahre verflossen sind.

Die Zeit, seit welcher die Erdkruste ungefähr ihre jetzige Beschaffenheit einnimmt, wird von Physikern und Geologen verschieden lang bemessen und je nachdem etwa zu 30 bis 1000 Millionen Jahre angegeben. Die Erde und erst recht die viel heißere Sonne unterliegen infolge der Ausstrahlung von Wärme in den Weltenraum einem Wärmeverlust, und beide Gestirne hätten sich in dieser Zeitperiode sehr viel weiter abkühlen sollen, als es sie es tatsächlich tun. Auf der Suche nach einer den Verlust deckenden, bis jetzt unbeachteten Wärmezufuhr begegnen wir den wunderbaren Eigenschaften des Radiums, das in der Erde fast überall, wenn auch in winzigen Spuren, aber doch insgesamt in solchen Mengen verbreitet ist, daß die von ihm andauernd erzeugte Wärme als wichtiger Faktor ins Spiel kommt. Schon ohne Rücksicht auf die Wärmeentwicklung der anderen radioaktiven Elemente reicht der Radiumvorrat der Erde völlig aus, um den Wärmehaushalt zu regeln. Man hat berechnet, daß — unter der Voraussetzung, daß die Verteilung des Radiums im Inneren der Erde die gleiche sei wie an der Oberfläche — der Radiumvorrat sogar dreißigmal größer ist als erforderlich. Vielleicht darf man daraus schließen, daß das Vorkommen von Radium sich hauptsächlich auf die äußere Erdkruste beschränkt, und daß das Erdinnere weniger radioaktiv ist.

Der im Radium aufgespeicherte Wärmevorrat ist ungeheuer groß, und das Auffallende besteht darin, daß die Wärme selbsttätig und ununterbrochen abgegeben wird. Hierin liegt ein schroffer Unterschied gegenüber den anderen, nicht radioaktiven Stoffen, denn diese entwickeln Wärme nur eben

so lange, als wir chemisch auf sie einwirken. Die sich vollziehenden Vorgänge sind von ganz verschiedener Art. Während bei den gewöhnlichen chemischen Reaktionen das innere Wesen der Atome verschont bleibt, gehen bei den radioaktiven Umwandlungen die Atome in Trümmer. Von den so ganz andersartigen Vorgängen zeugt auch die ausgesandte korpuskulare Strahlung, die den gewöhnlichen Reaktionen vollständig abgeht. In den Strahlen werden die Bruchstücke der Atome explosionsartig ausgeschleudert, so daß die Radioaktivität uns die direkte, sinnenfällige Kunde von dem Zerbersten der Atome übermittelt.

Die Bruchstücke sind berufen, uns Aufklärungen über den Bau der Atome zu verschaffen, die, solange es sich um gewöhnliche chemische Vorgänge handelt, nach wie vor die gleiche Rolle der kleinsten materiellen Teilchen spielen. Die Bruchstücke tragen elektrische Ladungen, sind jedoch von ganz verschiedener Natur. Die negativen erweisen sich als Elektronen, die positiven sind dagegen Korpuskel, die, soweit unsere jetzigen Erfahrungen reichen, nie kleiner als Atome sind. Man gewinnt so die Ansicht, daß es nur negative Elektronen gibt, und daß die positive Elektrizität nur an Gebilden von der Größenordnung der Atome haste. Ausgehend davon hat man sich schon das Bild zurechtgemacht, daß die Atome aus einem positiven elektrischen Kern beständen, der von einer sehr großen Anzahl von Elektronen umgeben ist. Die positive Elektrizität erschiene hiernach lediglich als ein Mangel an Elektronen, der sich auf Atomen einstellt.

Die Atome der Metalle können nach dieser Auffassung sogar ganz leicht ein oder einige wenige Elektronen abgeben, ohne daß darunter ihr Bau notleidet. Der übrigbleibende Rest des Atoms ist durchaus beständig und verhält sich, da

ihm negative Elektronen fehlen, positiv elektrisch; er bildet ein positives Jon, wie etwa im Falle des Natriums. Diese Abgabe von einigen wenigen Elektronen hat mit Radioaktivität nichts zu tun und bedeutet noch keineswegs ein Auseinanderberſten des Atomgerippes, denn durch Wiederaufnahme von Elektronen wird das neutrale Atom zurückgebildet. Andere Atome wieder, nämlich die vieler Nichtmetalle, vermögen außer den ihnen angehörenden Elektronen noch eines oder einige weitere festzuhalten und erscheinen dann infolge des Zuviels an negativer Elektrizität als negatives Jon, wie z. B. im Falle des Chlors. Die Chemie hat sich bereits der zunächst fast nur physikalischen Tatsachen entsprungenen Elektronentheorie bemächtigt und hat alle Aussicht, damit viel tiefer in das Wesen der Stoffe einzudringen. Alles Materielle wäre auf die Elektrizität zurückgeführt, und diese wäre der Urstoff, aus dem sich das Weltall aufbaute, wir ständen gewissermaßen vor der Entmaterialisierung der Materie.

Die neuen Anschauungen sind erst im Werden und die Meinungen sind noch vielfach geteilt. Ob sie sich bewähren, insbesondere, ob die Atomzerfallhypothese weiteren Entdeckungen standhält, das muß alles erst die Zukunft lehren. Wissen wir doch nicht einmal, ob die nach dieser Hypothese zu erwartende Gewichtsabnahme des Radiums eintritt; die Zeit ist noch zu kurz und die hergestellten Mengen der Radiumpräparate sind noch zu gering, als daß wir jetzt schon mit der Wage in der Hand eine Entscheidung über diese Hypothese treffen könnten. Unabhängig von allen theoretischen Vorstellungen steht aber die Tatsache fest, daß der Mensch der Natur ein neues gewaltiges Geheimnis abgelauscht hat. Möge es ihm vergönnt sein, diese ungeahnten Naturkräfte sich untertan zu machen.

Register.

Aktinium 7 75
Aktivatoren 88
Anode 23 30

Barium 6
Bariumplatincyanür 9 37 41
Becquerel 2 63
Becquerelstrahlen 3 11
Berzelius 4
Blei 60 69 89
Bodenluft 79
Boltwood 67 69
Bragg 27

Cameron 54
Cleveït 52
Crookes, W. 25 63
Curie, P. 5 34 55
Curie, Skłodowska 4 8 34 55 60

Debierne 7 75
Dewar 53
Dorn, E. 46
Durchdringungskraft 19 22 28 35 38

Elektrochemie 38
Elektrolyse des Wassers 13
Elektron 31 34 91
Elektroskop 11 17
Elster 25 61 78
Emanation des Aktiniums 16 81
— des Radiums 41 81
— des Thoriums 47 55 71 81
Emanium 76
Engler 84 86
Erdalkalien 8
Erregte Radioaktivität 41 56

Fango 80
Fluoreszenz 2 25 39
Fontaktoskop 84
Frankland 52

Geiger 53 59
Geitel 25 61 78
Giesel 7 76
Goldstein 23
Gray 45

Hahn, O. 73
Halbierungskonstante 49
Helium 24 51 f. 69 77 89
Hofmann, K. A. 60

Ionen 16 19 26 30 92
Jonium 68

Kanalstrahlen 23
Kaufmann, W. 33
Kathode 23 30
Kathodenstrahlen 23 28 33
Kleeman 27
Korpuskel 24 29 61

Lebensdauer 48 f.
Leitfähigkeit der Luft 3 16 78
Leuchten der Radiumpräparate 9
Leuchtschirme 9 24 37
Lockyer 52

Mache 85
Mache-Einheiten 85
Magnetische Ablenkung 20 28 36
Marckwald 60
Mesothorium 74
Moissan 1

Pechblende 1 5 67 75
Perpetuum mobile 11
Polonium 6 22 25 27 60

Quellen 81 87

Radioaktives Gleichgewicht 66
Radioaktivität, Definition 5
Radioblei 60
Radiotellur 60
Radiothorium 73 88
Radium 6-8 25 67 88
Radiumbromid 7 8 11 13 44 51 67
Radiumchlorid 6
Radiumemanation 43
Radiumuhr 13
Ramsay 13 45 51 f. 54
Reichweite 26
Röntgen 2
Rutherford 15 24 47 53 55 59 61 65 71

Schmid, C. G. 4
Schlamm 88
Scintillieren 25
Sekundärstrahlen 16 38
Sidotblende 24 73
Sieveking 84
Sinter 88
Soddy 13 51 65 67 71
Spintharioskop 25
α-Strahlen 15 20 22 24 47 53
β-Strahlen 15 20 28 34
γ-Strahlen 15 20 37 40
Stoney 31
Strutt 11

Thermen 86
Thomson, J. J. 33
Thorium 4 70
Thoriumemanation 71
Thorium-X 73

Uranium 1 62 89
Uranstrahlen 3
Uran-X

Vakuumröhren 2 23

Wärmeentwicklung des Radiums 10 90
Wasserstoffionen 30
Wirkungsbereich 26
Wismut 6

X-Strahlen 40

Zerfallreihe des Aktiniums 77
— des Radiums 60
— des Thoriums 75
— des Urans 68

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Jedem Naturfreund sei bestens empfohlen:

Die Naturdenkmalpflege

Die Bestrebungen zur Erhaltung der Naturdenkmäler und ihre Durchführung

Von Professor W. Bock

Geschäftsführer des Hannoverschen Provinzial- und Bezirkskomitees für Naturdenkmalpflege

Mit 8 Tafeln und 17 Abbildungen im Text. Oktav. 117 Seiten. Geheftet M 1.—, gebunden M 1.40

(„Naturwissenschaftliche Wegweiser", Serie A, Band 10)

Der Schutz der Natur ist die vornehmste Aufgabe jedes wahren Naturfreundes. Mächtig hat in den letzten Jahren eine Bewegung Wurzeln gefaßt, die die Unterstützung des ganzen Volkes verdient. Sie will die zum Teil schon im Verschwinden und Aussterben begriffenen Schönheiten der heimatlichen Natur, „die Naturdenkmäler", erhalten und schützen, gewiß ein Ziel, wie es vornehmer nicht gedacht werden kann.

Noch ist die Zahl der Aufklärungsmittel verschwindend gering, und es werfen sich deshalb bei der Neuheit der Bewegung täglich die Fragen auf:

Was sind Naturdenkmäler?
Warum sollen sie geschützt werden?
Wie ist ihr Schutz zu erreichen?

In sachkundiger Weise gibt das vorliegende Bändchen darüber Aufschluß. Das Buch ist ein vortrefflicher Berater für jeden, dem die Erhaltung der natürlichen Schönheit am Herzen liegt, die kein Buch, kein Bild und kein Modell ersetzen kann.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlage **Strecker & Schröder** in **Stuttgart**

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Die Haustiere
in Abstammung und Entwicklung

Eine natur- und kulturgeschichtliche Darstellung

Von Privatdozent Dr. M. Hilzheimer

Mit 1 Tafel und 56 Abbildungen im Text. Oktav.
132 Seiten. Geheftet M 1.—, gebunden M 1.40

(„Naturwissenschaftliche Wegweiser", Serie A, Band 11)

Umschlagbild.

Auf Grund des gegenwärtigen Standes der Haustierforschung gibt der Verfasser, der durch seine früheren Arbeiten auf diesem Gebiete den Ruf eines hervorragenden Fachmannes genießt, einen Überblick über die Haustiere, ihre Abstammung und ihre geschichtliche Entwicklung. In gemeinverständlicher Form führt er den Leser unter Behandlung der wichtigsten Rassen in ein hochinteressantes Thema ein und gestaltet es durch die Beigabe eines reichen Bilderschmuckes außerordentlich anschaulich u. belehrend.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlage **Strecker & Schröder, Stuttgart**

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Vulkanismus und Erdbeben

Von Professor Dr. J. B. Messerschmitt
am Königlichen Erdmagnetischen Observatorium in München

Mit zahlreichen Tafeln und Abbildungen im Text.
Oktav. Etwa 6 Bogen. Geh. M 1.—, geb. M 1.40

(„Naturwissenschaftliche Wegweiser", Serie A, Band 13)

In den letzten Jahren haben sich die Katastrophen durch Erdbeben und Vulkanausbrüche in unverkennbarer Weise gehäuft; es sei nur an den Ausbruch des Mont Pelé vom Mai 1902 mit der Zerstörung von St. Pierre und an die Vesuveruption von 1906 einerseits und an die schrecklichen Erdbeben von Kalabrien, Sizilien und Kalifornien andererseits erinnert. Die außergewöhnliche Zunahme in der Tätigkeit der unterirdischen Gewalten ist nicht nur scheinbar, weil etwa der Nachrichtendienst jetzt besser ist als früher, sondern sie besteht in Wirklichkeit. Durch diese Vorgänge ist das Interesse an dem Vulkanismus und den Erdbeben ganz bedeutend gestiegen. Dazu kommt, daß die Erdbebenkunde im letzten Jahrzehnt durch die Erfindung neuer und hochempfindlicher Apparate große Fortschritte gemacht hat, die es ermöglichen, von den entferntesten Erdbebenkatastrophen in kürzester Zeit Aufzeichnungen zu erhalten und aus denselben sofort den Ort des Erdbebenherdes zu berechnen. Das vorliegende Buch gibt darüber in gemeinverständlicher Weise Auskunft. In der Hauptsache bringt es aber anschauliche Beschreibungen der bei Vulkanausbrüchen und Erdbeben beobachteten Vorgänge, die durch die Mitteilung von direkten Beobachtungen noch mehr an Anschaulichkeit gewinnen.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom
Verlage Strecker & Schröder, Stuttgart

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Hawaii, Oſtmikroneſien und Samoa

Meine zweite Südſeereiſe (1897—1899) zum Studium der Atolle und ihrer Bewohner. Von Marineoberſtabsarzt Prof. Dr. A. Krämer. Mit 20 Tafeln und 136 Textabbildungen. Groß-Oktav. 585 Seiten.

Geh. M 10.—, geb. M 12.—

Das Buch des unermüdlichen Erforſchers der Südſee iſt in einem angenehmen Plauderton geſchrieben, der ſich mit ſtrengwiſſenſchaftlicher Gründlichkeit paart. In dieſer glücklichen Vereinigung liegt die Garantie, daß das Werk von den zahlreichen Gebildeten, die ſich für Länder- und Völkerkunde intereſſieren, gern geleſen wird. Das Werk bringt aber auch für den Gelehrten, den Zoologen, Geologen, Kolonialgelehrten manche Anregung. Die ethnologiſche Literatur iſt durch das Krämerſche Buch um eine wertvolle Arbeit bereichert worden.

Krämer zählt zu den berufenſten Schilderern der Südſee. Jahrelang hat er auf der Perle der Südſee, Samoa, zugebracht, mit Land und Leuten vertraut wie wenige, und in nigen Anteil genommen an dem unruhig wechſelvollen Geſchick dieſes herrlichen Landes; auch in anderen Teilen Polyneſiens und beſonders auch in Oſtmikroneſien iſt er zu Haus, und die Südſee hat es ihm angetan, ſie lockt ihn immer wieder hinaus. Im vorliegenden Buch wendet er ſich an ein breiteres Publikum und gibt eine feſſelnde Schilderung ſeiner zweiten Südſeereiſe. Eine Fülle von Kulturſchilderungen findet der Leſer hier, und auch ihn erfaßt beinahe eine Sehnſucht nach der Südſee. Nichts entgeht Krämer. Ueber alles weiß er zu berichten, über Sitten und Gebräuche, Werkzeuge und Waffen, Spiel und Tanz ...

Mein Gewährsmann und Fiſcher Malaia von Siumu

(Schwäbiſcher Merkur.)

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen; falls ſich keine ſolche am Orte befindet, direkt vom Verlage Strecker & Schröder in Stuttgart

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Dreißig Jahre in der Südsee

Land und Leute, Sitten und Gebräuche im Bismarckarchipel und auf den deutschen Salomoinseln. Von **R. Parkinson.** Herausgegeben von Dr. B. Ankermann, Direktorial-Assistent am Königl. Museum für Völkerkunde zu Berlin. Mit 56 Tafeln, 141 Textabbildungen und 4 Uebersichtskarten. Groß-Oktav. XXII, 876 Seiten.

Geheftet M 14.—, gebunden M 16.—

Der Bezug kann auch gegen Ratenzahlungen erfolgen.

Wohl keiner der Lebenden hat in unseren Südseeschutzgebieten mehr gesehen und erlebt als Richard Parkinson. Er machte sich im Jahre 1875 als einer der wenigen Kolonisten, die der deutschen Flagge bahnbrechend vorausmarschierten, auf Samoa ansässig, um im Jahre 1882 auf die Gazellehalbinsel überzusiedeln. Von hier aus hat er, all die Gefahren nicht achtend, die ihn oft begleiteten, sämtliche Küsten des Archipels auf zahlreichen Reisen besucht und immer wieder besucht. Parkinson hat dabei verschiedene Inseln entdeckt, die vor ihm noch kein Fuß eines Weißen betreten hatte. Da er außerdem durch seine Tätigkeit als Pflanzer in die Lage versetzt war, Arbeiter anzuwerben, so war er in ständigem Verkehr mit zahlreichen Eingeborenen der verschiedensten Landesteile und ist im Laufe der Zeit **der beste Kenner der Eingeborenen** geworden.

Parkinson besaß ein angeborenes Talent, mit feindlichen und furchtsamen „Wilden" umzugehen. Die Eingeborenen lernten seine Hilfe schätzen, welche er ihnen in ihren Nöten bot; sie faßten großes Vertrauen zu dem weißen Mann, der sich stets als ihr Freund und Helfer erwies. Es ist sein Verdienst, daß auf einem großen Teil der Gazellehalbinsel friedliche und geordnete Zustände einzogen.

Parkinson hat die Sitten und Gebräuche der dortigen Völker bis in ihre interessantesten und intimsten Einzelheiten kennen gelernt und studiert und weiß den Leser durch seine lebenswahre, packende Darstellung sowie durch die Beigabe zahlreicher vorzüglicher Bilder von Anfang bis Ende zu fesseln.

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen; falls sich keine solche am Orte befindet, direkt vom Verlage **Strecker & Schröder in Stuttgart**

QC
795
K3

Kauffmann, Hugo Josef
Das Radium und die
Erscheinungen der Radioaktivität

Physical &
Applied Sci.

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY